

Management Summary

Potenzialstudie zur nachhaltigen Erzeugung und Einspeisung gasför- miger, regenerativer Energieträger in Deutschland (Biogasatlas)

24. Januar 2014

Potentialstudie

zur nachhaltigen Erzeugung und Einspeisung gasförmiger, regenerativer Energieträger in Deutschland (Biogasatlas)

Die politische Zielsetzung sieht derzeit vor, dass im Jahr 2020 sechs Milliarden Kubikmeter Biogas pro Jahr als aufbereitetes, zum Erdgas kompatibles Biomethan in das öffentliche Gasnetz eingespeist werden. Bis zum Jahr 2030 sollen es zehn Milliarden Kubikmeter sein. Die Produktion von Biogas einschließlich des Anbaus der Energiepflanzen und die Verwertung der Gärprodukte werden jedoch zunehmend unter Nachhaltigkeitskriterien diskutiert. Um diese Ausbauziele neu zu bewerten, hat der DVGW eine Potentialstudie erarbeitet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass unter Nachhaltigkeitsaspekten, d.h. auch unter Berücksichtigung der Anforderungen an den vorsorgenden Boden- und Gewässerschutz sowie der Energieeffizienz, im Jahr 2020 8,6 Milliarden Kubikmeter und im Jahr 2030 10,3 Milliarden Kubikmeter Biomethan pro Jahr in das deutsche Gasnetz eingespeist werden könnten und somit die politische Zielsetzung erfüllbar ist. Zur Erreichung dieser Ziele müsste allerdings ein Großteil der bestehenden Biogasanlagen auf Einspeisung umgerüstet werden.

Derzeit werden in Deutschland etwa 11,8 Milliarden Nm^3 Rohbiogas im Jahr erzeugt. Dieses Rohbiogas weist einen Brennwert von ca. $5,8 \text{ kWh}/\text{Nm}^3$ auf. Ein Großteil dieses erzeugten Rohbiogases wird derzeit vor Ort verstromt. Mit der Einspeisung in das Gasnetz könnten zusätzliche Umwelt- und Effizienzvorteile erzielt werden.

Um Biogas in das Erdgasnetz einspeisen zu können, muss es zu Biomethan aufbereitet werden. Es weist dann mit ca. $10,6 \text{ kWh}/\text{Nm}^3$ einen annähernd doppelt so hohen Energieinhalt auf und entspricht Erdgasqualität. Ca. 0,7 Milliarden Nm^3 aufbereitetes Biomethan pro Jahr werden derzeit eingespeist. Sie sind mittels Erdgasnetz über die reine Verstromung hinaus für weitere Anwendungsmöglichkeiten wie Heizwärme, Kraft-Wärme-Kopplung, Erdgasfahrzeuge oder als CO_2 -neutraler Rohstoff für die produzierende Industrie verfügbar. Mit Stand vom 31. März 2013 waren in Deutschland 120 Biogaseinspeiseanlagen in Betrieb. Deren Biomethanproduktion ersetzt rd. 0,6 Prozent der derzeitigen Erdgasmenge. Etwa 50 weitere Anlagen sind in Planung oder Bau.

Bis 2030 sollen ca. zehn Prozent des Erdgases durch Biogas ersetzt werden, damit die klimapolitischen Zielstellungen erreicht werden können. Um zu prüfen, ob diese Mengenziele nachhaltig – unter Berücksichtigung des vorsorgenden Boden- und Gewässerschutzes – zu erreichen sind und um der Energie- und Gasversorgung eine strategische Planung für zukünftige Biogaseinspeiseprojekte zu ermöglichen, wurde

eine regionenbezogene Analyse der Ist-Situation und eine Abschätzung der nachhaltig gewinnbaren Potenziale vorgenommen. In die Untersuchung sind daher auch Aspekte zur Sicherung der Beschaffenheit der Trinkwasserressourcen durch gewässerschützenden Energiepflanzenanbau sowie bedarfs- und standortgerechtes Düngen mit Gärprodukten einbezogen worden.

Die Studie ist unter Einbeziehung von Fachleuten und Institutionen aus Landwirtschaft, Biogaswirtschaft sowie der Energie- und Wasserwirtschaft erarbeitet worden. Mit dieser spartenübergreifenden Potenzialstudie wird aufgezeigt, inwieweit die politischen Ausbauziele auch unter den Aspekten des vorsorgenden Boden- und Gewässerschutzes und einer effizienten Gasversorgung zu erreichen sind.

Biogas lässt sich aus einer Vielzahl von Substraten erzeugen. Es wurden insgesamt 20 potenzielle Substrate aus den Bereichen Landwirtschaft, Kommune und Industrie betrachtet. Besonders Substrate aus Kommunen und der Industrie werden momentan wenig oder praktisch nicht für die Biogaserzeugung genutzt. Im Bereich der Landwirtschaft stehen der Anbau und Nutzung von Energiepflanzen wie Mais im Mittelpunkt, aber auch die Verwertung von Ernteresten. Um Aussagen über die zukünftige Entwicklung bei den Substratmengen treffen zu können, wurde eine substratspezifische Prognose für die Jahre 2015, 2020 und 2030 erstellt. Neben der Entwicklung des Substrataufkommens wurden auch zusätzliche Faktoren, wie etwa die Bevölkerungsentwicklung und die voraussichtliche Entwicklung der Tierhaltung zu Grunde gelegt.

Die Erzeugungspotenziale aus diesen verschiedenen Substraten wurden dann schrittweise abgestuft ermittelt, vom theoretisch erzeugbaren Potenzial, über das technisch und nachhaltig erzeugbare Potenzial, bis hin zum wirtschaftlich erzeugbaren Potenzial. Die Untersuchungen betrafen den Zeitpunkt der Studiererstellung sowie die Jahre 2020 und 2030. Das Substrataufkommen konnte regional hoch auflösend erfasst werden.

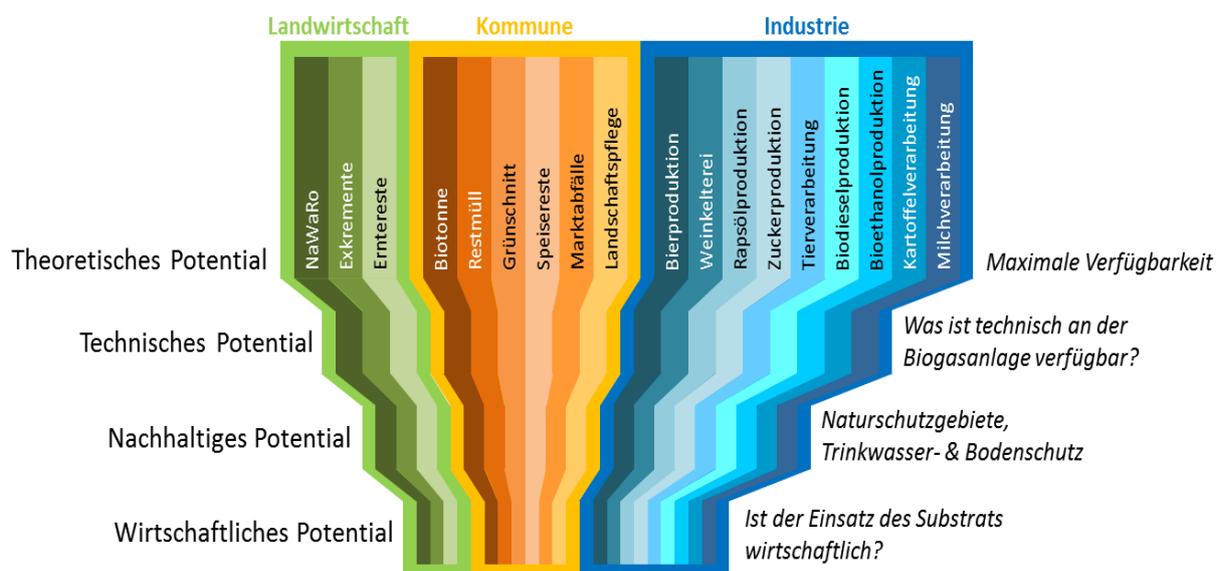


Bild 1: Einsatzsubstrate und Potentiale.

Im Ergebnis zeigt die Studie, dass unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien in 2030 ca. 10,3 Milliarden Nm³ einspeisefähiges Biomethan pro Jahr produziert werden können. Dies setzt agrarstrukturelle Veränderungen voraus, die die Regionen mit bereits heute sehr hohen Stickstoffüberschüssen entlasten und die Biogaserzeugung und Gärproduktverwertung auch außerhalb dieser Regionen attraktiver machen. Dadurch wären sowohl für den Klimaschutz als auch für den Boden- und Gewässerschutz Vorteile zu erwarten.

Weiterhin hat die Studie ergeben, dass das bestehende Gasnetz unter Berücksichtigung des limitierenden Minimalflusses diese Mengen an Gas aufnehmen kann. Mengen- und leistungsmäßig ist das Gasnetz grundsätzlich kein begrenzender Faktor. Voraussetzung ist allerdings, dass die Biogaseinspeiseanlagen dort angeschlossen werden, wo die Kapazität des jeweiligen Abschnittes im Gasnetz ausreichend für die ganzjährige Aufnahme des Biogases ist.

In verschiedenen Regionen Deutschlands ist eine Einspeisung von Biomethan in das Niederdruck- bzw. Gasverteilnetz ganzjährig nicht möglich, da die Gasabgabe jahreszeitlich erheblich differiert. Um trotzdem das kontinuierlich anfallende Biomethan aufnehmen zu können, etwa in Sommermonaten, ist eine Einspeisung mit zusätzlicher Verdichtung in das vorgelagerte Hochdruck- bzw. Transportnetz möglich. Solche Netzgebiete sind in der Studie identifiziert worden. In diesen Fällen sollten Einzelfallbetrachtungen im Sinne einer kostengünstigen Einspeiselösung durchgeführt werden. Daher empfiehlt die Studie, vor allem in Gebieten mit hohem Biogaserzeugungspotential dieses bei der Gas-Zielnetzplanung zu berücksichtigen.

Aus der Studie können nunmehr regionale und nach verschiedenen Substraten differenzierte Potentiale abgeleitet werden. Dadurch wird es möglich, zukünftige Schwerpunktgebiete für den Anbau von Energiepflanzen zu lokalisieren, mögliche Limitationen bei der Gärproduktausbringung zu berücksichtigen sowie optimale Standorte für die Biomethaneinspeisung zu finden. Eventuell notwendige Gasinfrastrukturanpassungen können somit langfristig geplant werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass unter Nachhaltigkeitsaspekten, d.h. unter Berücksichtigung der Anforderungen des vorsorgenden Gewässer- und Bodenschutzes sowie der Energieeffizienz, im Jahr 2020 8,6 Milliarden Nm³ und im Jahr 2030 10,3 Milliarden Nm³ Biomethan pro Jahr in das deutsche Gasnetz eingespeist werden können.

Die Einspeisung konkurriert jedoch mit der direkten Verstromung von Biogas bzw. Biorohgas am Ort der Erzeugung. Über den Pfad der Aufbereitung von Biorohgas zu Biomethan und dessen Einspeisung in das bestehende Gasnetz wird die ganze Bandbreite effizienter Gasanwendungstechnologien von Heiz- und Raumwärmebereitstellung über effiziente und flexible Kraft-Wärme-Kopplung in allen Leistungsbereichen, dem Einsatz in der Mobilität bis hin zum CO₂-neutralen Rohstoff für die Industrie erreicht.

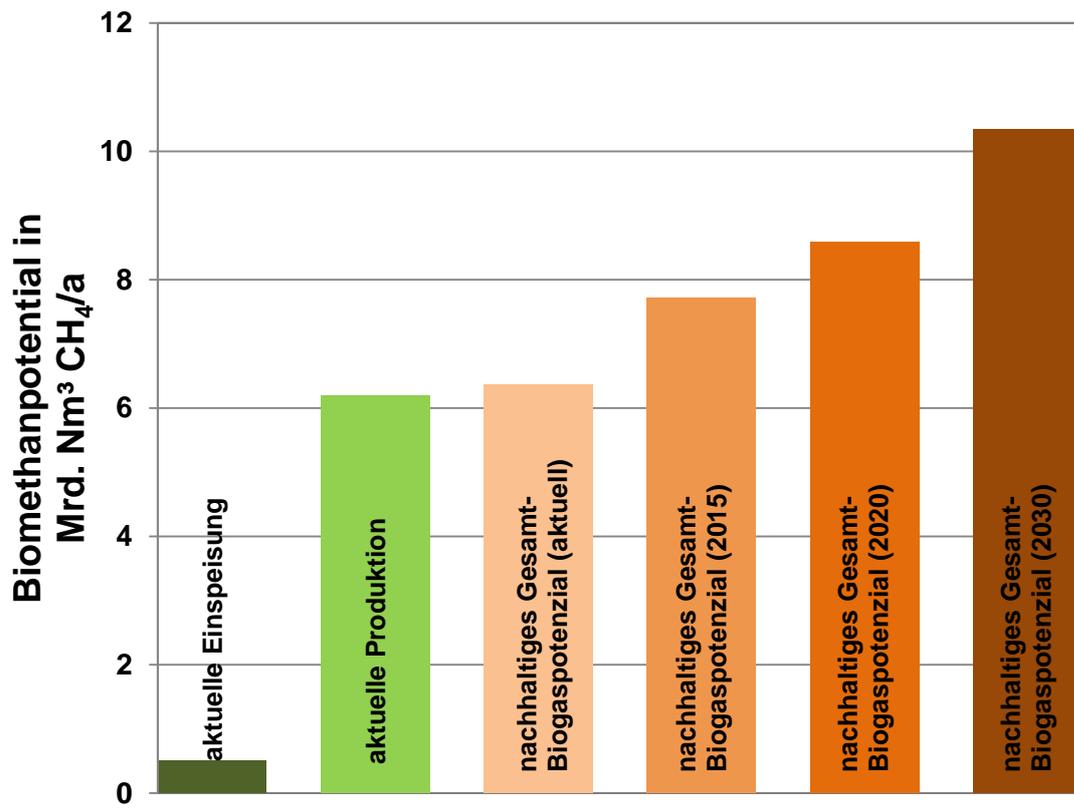


Bild 2: Biomethanerzeugungspotential unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten.

Abschlussbericht

Potenzialstudie zur nachhaltigen Erzeugung und Einspeisung gasför- miger, regenerativer Energieträger in Deutschland (Biogasatlas)

30. September 2013

Dipl.-Wi.-Ing. Ronny Erler

DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH, Freiberg (DBI GTI)

M. Eng. Jens Hüttenrauch

DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH, Freiberg (DBI GTI)

M. Sc. Enrico Schuhmann

DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH, Freiberg (DBI GTI)

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Frank Graf

DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des
Karlsruher Instituts für Technologie (DVGW-EBI)

Dipl.-Ing. Wolfgang Köppel

DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des
Karlsruher Instituts für Technologie (DVGW-EBI)

Dipl.-Geol. Joachim Kiefer

DVGW Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe (TZW)

Dipl.-Ing. Thomas Ball

DVGW Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe (TZW)

Dipl.-Geoökol. Thilo Fischer

DVGW Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe (TZW)

Dipl.-Biol. Volker Knappertsbusch

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und
Energietechnik, Oberhausen (UMSICHT)

Geograph M. A. Boris Dresen

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und
Energietechnik, Oberhausen (UMSICHT)

Herausgeber

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
Technisch-wissenschaftlicher Verein
Josef-Wirmer-Straße 1–3
53123 Bonn

T +49 228 91885
F +49 228 9188990
info@dvgw.de
www.dvgw.de

Potenzialstudie zur nachhaltigen Erzeugung und Einspeisung gasförmiger, regenerativer Energieträger in Deutschland (Biogasatlas)

Abschlussbericht

DVGW-Förderkennzeichen GW 2/01/10

Der Abschlussbericht entstand im Rahmen der DVGW-Innovationsoffensive im Forschungsprojekt GW 2/01/10 „Potenzialstudie zur nachhaltigen Erzeugung und Einspeisung gasförmiger, regenerativer Energieträger in Deutschland (Biogasatlas)“. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren.

Der Abschlussbericht wurde erstellt durch:

DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg **Projektkoordination**
Halsbrücker Straße 34 Kapitel 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10.3, 11.4, 11.5, 12, 13
D-09599 Freiberg

Dipl.-Wi.-Ing. Ronny Erler, Dr.-Ing. Hartmut Krause, M. Eng. Jens Hüttenrauch,
M. Sc. Enrico Schuhmann

Telefon: (+49) 3731 4195-328
E-Mail: ronny.erler@dbi-gti.de
Internet: www.dbi-gti.de

DVGW-Forschungsstelle Engler-Bunte-Institut der **Kapitel 11.3**
Universität Karlsruhe (TH) - Gastechnologie
Engler-Bunte-Ring 1-7
D-76131 Karlsruhe

Dipl.-Ing. Wolfgang Köppel, Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Frank Graf

Telefon: (+49) 721 96402-23
E-Mail: koepfel@dvwg-ebi.de
Internet: www.dvgw-ebi.de

DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW) Karlsruhe **Kapitel 3.1, 4, 10.1, 11.2**
Karlsruher Straße 84
D-76139 Karlsruhe

Dipl.-Geol. Joachim Kiefer, Dipl.-Ing. Thomas Ball, Dipl.-Geoökol. Thilo Fischer

Telefon: (+49) 721 9678-200
E-Mail: joachim.kiefer@tzw.de
Internet: www.tzw.de

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und **Kapitel 3.2, 3.3, 10.2, 11.1**
Energietechnik UMSICHT
Osterfelder Straße 3
D-46047 Oberhausen

Dipl.-Biol. Volker Knappertsbusch, Geograph M. A. Boris Dresen

Telefon: (+49) 208 8598-1190
E-Mail: boris.dresen@umsicht.fraunhofer.de
Internet: www.umsicht.fraunhofer.de

Danksagung

Zu aller erst gilt der Dank dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. - Technisch-wissenschaftlicher Verein – (DVGW), welcher durch die finanzielle Förderung dieses Vorhaben ermöglicht hat. Begleitet wurde das Projekt von Experten und Sachverständigen aus verschiedenen Gremien, Verbänden und Institutionen. Ein besonderer Dank gilt dabei den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses, welche das gesamte Vorhaben professionell und konstruktiv begleitet haben:

Herr Dr. Richard Beisecker	Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft
Herr Dr. Claus Bonsen	E.ON Bioerdgas GmbH
Herr Thomas Fritsch	BALANCE VNG Bioenergie GmbH
Herr Uwe Klaas	DVGW
Herr Dr. Daniel Petry	DVGW
Herr André Plättner	ONTRAS - VNG Gastransport GmbH
Herr Hans Rasmusson	DVGW
Herr Ortwin Rodeck	GELSENWASSER AG
Herr Dieter Rütten	WINGAS GmbH
Herr Heiko Seelig	EWE AG
Herr Thomas Wilke	Mitteldeutsche Netzgesellschaft Gas mbH

Aufgrund der Komplexität und Vielschichtigkeit der gesamten Thematik wäre eine umfassende Betrachtung der verschiedenen Interessensgebiete nicht möglich gewesen ohne die weitere Mitwirkung der Mitglieder des G-GTK-0-1-Biogas sowie Vertretern unterschiedlicher Verbände, Organisationen, und öffentlichen Institutionen. Hierbei sei besonders folgenden Personen gedankt:

- Herr Dr. Norbert Haber, Frau Dr. Margarete Finck - Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
- Frau Dr. Claudia Brückner, Frau Silke Peschke, Herr Hans-Joachim Kurzer, Frau Karin Kuhn, Frau Dr. Kerstin Jäckel, Dr. Eberhardt Bröhl, Herr Dr. Michael Grunert, Herr Heiko Ihling, Herr Dr. Uwe Müller - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- Herr Dr. Claudius da Costa Gomez, Herr Manuel Maciejczyk, Herr Dr. Stefan Rauh - Fachverband Biogas e.V.
- Frau Katrin Berthold, Herr Daniel Leidert - Landratsamt Meißen
- Herr Wolfgang Friedrich Grübler - Regionalbauernverband Elbe/Röder e.V.

Des Weiteren gilt der Dank den vielen Bundes- und Landesämtern für die überwiegend kostenfreie Überlassung von Informationen und Geodaten:

- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Leipzig und Dresden

- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) - Betriebsstelle Hannover-Hildesheim
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie in Wiesbaden
- Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie in Frankfurt am Main
- Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz
- Landesamt für Kataster-, Vermessungs- und Kartenwesen in Saarbrücken
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW in Recklinghausen
- Thüringer Landesverwaltungsamt in Weimar
- Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie in Jena
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg in Karlsruhe
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern in Güstrow
- Bayerisches Landesamt für Umwelt in Augsburg
- Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt in Magdeburg
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt in Halle (Saale)
- Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
- Landkreis Cuxhaven
- ATT-Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V.
- Bundesamt für Naturschutz in Bonn
- Regionalverband Mittlerer Oberrhein
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt in Berlin
- Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz in Potsdam
- Senator für Bau, Umwelt und Verkehr in Bremen
- Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein in Flintbek

Darüber hinaus ist all den unzähligen Personen, Institutionen, Firmen, Verbänden etc. zu danken, die zur Erstellung dieser Studie beigetragen haben, sei es durch Auskünfte, Diskussionen, Literaturhinweise und/oder die Überlassung themenspezifischer Informationen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	19
1 Begriffe und Definitionen	22
2 Zielstellung und Strategie des Projektes	29
3 Landwirtschaftliche Grundlagen	32
3.1 Rahmenbedingungen bei der Gärproduktaufbringung	33
3.1.1 Hintergrund zur Thematik „Gärproduktaufbringung“	37
3.1.2 Rechtsbereich Wasser	38
3.1.3 Rechtsbereich Boden	45
3.1.4 Rechtsbereich Hygiene	51
3.1.5 Abschließende Betrachtungen zu Restriktionen der Gärproduktaufbringung	52
3.2 Nährstoffkreisläufe und -bilanzierung in der Landwirtschaft	53
3.2.1 Problematik	54
3.2.2 Nährstoff-Kreisläufe	54
3.2.3 Methoden zur Nährstoffbilanzierung	59
3.3 Potenzialberechnung auf Basis von Nährstoffbilanzen	70
3.3.1 Überblick zur Berechnungsmethode	70
3.3.2 Rahmenbedingung Gärproduktbilanzierung	72
3.3.3 Berechnungsmodell „business as usual“	72
3.3.4 Berechnungsmodell Nachhaltige Entwicklung	79
4 Wasserwirtschaftliche Grundlagen	84
4.1 Vorgehensweise bei der Erfassung und Zusammenstellung der Geobasisdaten im GIS	84
4.1.1 Übersicht	84
4.1.2 Vereinheitlichung des Koordinatensystems	84
4.1.3 Datenbasis und Vorgehensweise bei der Erstellung deutschlandweiter WSG-Karten im GIS	85
4.1.4 Datenbasis und Dokumentation der Erstellung einer deutschlandweiten Gewässerrandstreifen-Karte	86
4.1.5 Erfassung der gefährdeten Grundwasserkörper	87
4.1.6 Erfassung der Schutzgebiete aus Naturschutzsicht	88
4.1.7 Weitere wasserwirtschaftlich relevante Gebiete	88
4.1.8 Ackerflächen	89
4.1.9 Weitere Vorgehensweise	90
4.2 Restriktionen für die Gärproduktausbringung, den Energiepflanzenanbau und den Biogasanlagenbau	91

4.2.1	Gesamtfläche der Grundwasser- und Heilquellenschutzgebiete	91
4.2.2	Restriktionen hinsichtlich der Gärproduktausbringung des Energiepflanzenanbaus und des Biogasanlagenbaus.....	92
4.2.3	Übersicht über die deutschlandweiten Restriktionsflächen.....	99
4.3	Energiepflanzenanbau zur Biogasproduktion	102
4.3.1	Verschiedene Studien & F&E-Vorhaben	102
4.3.2	Ergebnisse aus dem bundesweiten Verbundvorhaben EVA	104
4.4	Schadstoffverlagerung und -ausbreitung im Boden und Grundwasser..	109
5	Grundlagen der Gasinfrastruktur	112
5.1	Ansatz zur Ermittlung der minimalen Einspeisekapazität	112
5.2	Ergebnisse zur minimalen Kapazität des Gasnetzes	116
6	Analyse des Biomethanerzeugungspotenzials.....	118
6.1	Rahmenbedingungen	118
6.1.1	Abschätzung des maximalen Substrateinzugs- / Transportradius	119
6.1.2	Abschätzung der wirtschaftlichen Einsatzfähigkeit von Substraten anhand des Marktpreises	121
6.2	Landwirtschaftliches Biogaspotenzial	126
6.2.1	Tierische Exkremente/Gülle	126
6.2.2	Mais.....	135
6.2.3	Dauergrünland.....	146
6.2.4	Stroh.....	156
6.2.5	Rüben- und Kartoffelblatt.....	165
6.2.6	Summenpotenzial Landwirtschaft.....	173
6.2.7	Summenpotenzial Landwirtschaft Prognose	174
6.3	Kommunales Biogaspotenzial	175
6.3.1	Biotonne	177
6.3.2	Grünschnitt	182
6.3.3	Restmüll	187
6.3.4	Küchen-, Kantinen- und Marktabfälle	192
6.3.5	Straßenbegleitgrün.....	202
6.3.6	Summenpotenzial Kommune	214
6.3.7	Summenpotenzial Kommune Prognose	215
6.4	Industrielles Biogaspotenzial	216
6.4.1	Bierproduktion	218
6.4.2	Weinproduktion	225
6.4.3	Tierverarbeitung	230
6.4.4	Milchverarbeitung	236
6.4.5	Zuckerproduktion.....	242
6.4.6	Kartoffelverarbeitende Industrie	247
6.4.7	Biodieselproduktion	250
6.4.8	Bioethanolproduktion.....	254

6.4.9	Rapsölproduktion	259
6.4.10	Summenpotenzial Industrie IST-Zustand	263
6.4.11	Summenpotenzial Industrie Prognose.....	264
6.5	Gesamtpotenzial.....	265
7	Aktuelle Standorte von Biogasanlagen, Bio-gaseinspeiseanlagen und den Maisanbauflächen bzw. Gärproduktausbringflächen	277
8	CO₂-Footprint unterschiedlicher Nutzungspfade von Biogas	282
9	Ausweisung von Vorzugsgebieten für die Errichtung von Biogaserzeugungs- und Biogas-einspeiseanlagen unter Berücksichtigung des lokalen Erdgasabsatzes.....	284
9.1	Auswirkungen der Biogaseinspeisung auf die Gasinfrastruktur	284
9.2	Restriktive und selektive Standortfaktoren.....	284
9.3	Biogaseinspeisepotenzial und Erdgasaufnahmefähigkeit.....	288
10	Handlungsempfehlungen.....	291
10.1	Für die Landwirtschaft zum Anbau von Pflanzen und das Gärproduktmanagement.....	291
10.2	Für die politischen Entscheidungsträger.....	295
10.2.1	Handlungsempfehlungen für die Legislative.....	295
10.2.2	Exekutive – Genehmigungspraxis	296
10.3	Für die Gasnetzbetreiber zur Entwicklung der Gasinfrastruktur.....	298
11	Vergleich zu anderen aktuellen Studien	299
11.1	BMBF-Verbundprojekt „Biogaseinspeisung“	299
11.2	Leopoldina-Studie: „Bioenergie – Möglichkeiten und Grenzen“	301
11.3	BMU-Leitstudie „Leitstudie 2010“.....	303
11.4	FNR-Forschungsprojekt „Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft“	305
11.5	BGW und DVGW beauftragte Studie „Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse“	307
12	Forschungsbedarf	311
13	Zusammenfassung und Ausblick	313
14	Literaturverzeichnis.....	324
Anhang	351
	Überblick.....	351
	Anlage A1	353
	Anlage A2	360
	1.1 Mais (Energienmais).....	360
	1.3. Grünland / Grassilage	363
	1.4. Getreide	364
	Anlage B	365

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung der Potenzialstufen in den betrachteten Szenarien.....	31
Abbildung 2:	Übersicht der zum Themenbereich „Restriktionen für die Gärproduktaufbringung“ betrachteten Rechtsakte und sonstiger relevanter Dokumente.....	34
Abbildung 3:	Atmosphärische Deposition aufgrund von Verlusten an Stickstoffverbindungen im Betrieb.....	37
Abbildung 4:	Stickstoffkreislauf	56
Abbildung 5:	Phosphorkreislauf	58
Abbildung 6:	Kalium im Boden.....	59
Abbildung 7:	Stickstoffsaldo inklusive atmosphärische Deposition für das Jahr 2007	67
Abbildung 8:	Stickstoffsaldo ohne atmosphärische Deposition für das Jahr 2007	68
Abbildung 9:	Phosphorsaldo 2007	69
Abbildung 10:	Schematische Darstellung des Berechnungsmodells	73
Abbildung 11:	Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) pro Landkreis in Mio. Nm ³ /a, Berechnungsmodell „business as usual“ unter Annahme von Silomais als alleiniges pflanzliches Substrat.....	77
Abbildung 12:	Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) pro Landkreis in Nm ³ /ha dargestellt für die landwirtschaftlich genutzte Flächen, Berechnungsmodell „business as usual“ unter Annahme von Silomais als alleiniges pflanzliches Substrat	78
Abbildung 13:	Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) pro Landkreis in Mio. Nm ³ /a, Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“.....	82
Abbildung 14:	Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) in Nm ³ /ha landwirtschaftliche Nutzflächen, Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“.....	83
Abbildung 15:	Schemabild eines Wasserschutzgebietes mit Schutzzonen, Restriktionsflächen für die Gärproduktausbringung (R2, R4) und Ackerflächen ohne Restriktionen (R7).....	93
Abbildung 16:	Restriktionsflächen R2: Ackerflächen in festgesetzten und geplanten Schutzzonen II von Grundwasser- und Heilquellenschutzgebieten	96
Abbildung 17:	Hinsichtlich Nitrat gefährdete Grundwasserkörper nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sowie Grundwasserkörper mit Zielerreichung heute	97

Abbildung 18:	Gefährdete Grundwasserkörper nach WRRL und Restriktionsflächen R5 im Landkreis Meißen	98
Abbildung 19:	gefährdete Grundwasserkörper nach WRRL und Restriktionsflächen R5 im Landkreis Viersen	98
Abbildung 20:	Schema zu den Restriktionsflächen R1, R2, R3, R4, R5 und R6 für die Gärproduktausbringung auf Ackerflächen in Deutschland ..	100
Abbildung 21:	Übersicht über die Restriktionsfläche (ha) für die Gärproduktausbringung auf Ackerflächen in Deutschland	101
Abbildung 22:	Ermittlung der minimalen Kapazität des Gasnetzes - Schema .	113
Abbildung 23:	Jahresganglinie und Standardlastprofil für EFH	114
Abbildung 24:	Jahresganglinie und Standardlastprofil für GHD	115
Abbildung 25:	Gasnetzkapazitäten - Ausschnitt.....	116
Abbildung 26:	Kapazitäten des Gasnetzes - Deutschlandkarte	117
Abbildung 27:	Einsatzsubstrate und Potenziale	118
Abbildung 27:	Ermittlung der Transportradien und Versorgungsgebiete um Standorte	121
Abbildung 28:	Vergleich Biomethaneinspeisung mit Vor-Ort-Verstromung (NawaRo-, Gülle- und Luftreinhaltebonus).....	125
Abbildung 29:	Betrachtete landwirtschaftliche Substrate zur Erzeugung von Biogas	126
Abbildung 30:	Ermittlung standort-/flächengenaue Stalldaten	127
Abbildung 31:	Theoretisches und technisches/wirtschaftliches Biomethanpotenzial von tierischen Exkrementen in Nm ³ CH ₄ /ha	130
Abbildung 32:	Entwicklung des Viehbestandes in Deutschland.....	131
Abbildung 33:	Biomethangaspotenzial aus Gülle im Vergleich mehrerer Studien	132
Abbildung 34:	Entwicklungsprognose des Güllevorkommens bis zum Jahr 2030	134
Abbildung 35:	Theoretisches Biomethanpotenzial von tierischen Exkrementen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	135
Abbildung 36:	Entwicklung der Silomaisanbaufläche und der Tierzahlen (Rind, Schwein, Geflügel) von 2000 bis 2010.....	136
Abbildung 37:	Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial der Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ aus Mais in Nm ³ CH ₄ /ha auf Landkreisebene	139
Abbildung 38:	Biomethangaspotenzial aus Mais im Vergleich mehrerer Studien	140

Abbildung 39:	Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial der Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ aus Mais in Nm ³ CH ₄ /ha	141
Abbildung 40:	Entwicklung der Energiemaisanbaufläche in verschiedenen Szenarien.....	143
Abbildung 41:	Entwicklung der Biomethanerzeugungspotenzials von Mais in verschiedenen Szenarien.....	143
Abbildung 42:	unterstellte Entwicklung der durchschnittlichen Hektarerträge von Silomais in Deutschland von 2000 bis 2030.....	144
Abbildung 43:	Szenario „business as usual“: Wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Mais in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	145
Abbildung 44:	Szenario „Nachhaltige Entwicklung“: Wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Mais in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	145
Abbildung 45:	Entwicklung der Dauergrünlandfläche in Deutschland von 1999 bis 2010.....	147
Abbildung 46:	Einteilung Futtermittel nach Energiegehalt und Herkunft	148
Abbildung 47:	Dauergrünland insgesamt sowie die Verwendung als Tierfutter und mögliche energetische Nutzung in t/ha	150
Abbildung 48:	Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial aus Dauergrünland in Nm ³ CH ₄ /ha	151
Abbildung 49:	Biomethangaspotenzial aus Dauergrünland im Vergleich mehrerer Studien.....	152
Abbildung 50:	Entwicklung und Prognose des Tierbestandes (Pferde, Schafe, Rinder) von 1950 bis 2030.....	153
Abbildung 51:	Entwicklungsprognose der zur Energieerzeugung zur Verfügung stehenden Dauergrünlandfläche bis 2030.....	154
Abbildung 52:	Theoretisches Biomethanpotenzial von Dauergrünland in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	155
Abbildung 53:	Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial aus Getreide- und Rapsstroh in Nm ³ CH ₄ /ha	160
Abbildung 54:	Biomethangaspotenzial aus Getreidestroh und Rapsstroh im Vergleich mehrerer Studien	161
Abbildung 55:	Entwicklung und Prognose des Getreidestrohvorkommens von 2000 bis 2030	162
Abbildung 56:	Entwicklung der Rapsanbaufläche von 2000 bis 2030 im Vergleich zur maximalen Anbaufläche aufgrund der Fruchtfolge.....	163
Abbildung 57:	Entwicklungsprognose des Potenzials aus Stroh bis 2030	164
Abbildung 58:	Theoretisches Biomethanpotenzial von Raps- und Getreidestroh in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	165

Abbildung 59:	Theoretisches und technisches Biomethanpotenzial aus Rüben- und Kartoffelblatt in Nm ³ CH ₄ /ha	167
Abbildung 60:	Biomethangaspotenzial aus Kartoffelkraut im Vergleich mehrerer Studien.....	168
Abbildung 61:	Biomethangaspotenzial aus Rübenblatt im Vergleich mehrerer Studien.....	169
Abbildung 62:	Entwicklung und Prognose des Rübenblattvorkommens von 1999 bis 2030	170
Abbildung 63:	Entwicklung und Prognose des Kartoffelblattvorkommens von 1999 bis 2030	171
Abbildung 64:	Entwicklungsprognose des Potenzials aus Kartoffel- und Rübenblatt bis 2030	172
Abbildung 65:	Theoretisches Biomethanpotenzial von Kartoffel- und Rübenblatt in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	173
Abbildung 66:	Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Summenpotenzial landwirtschaftlicher Einsatzstoffe in Nm ³ CH ₄ /ha	174
Abbildung 67:	Wirtschaftliches Summenpotenzial landwirtschaftlicher Reststoffe in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030 im Szenario „Nachhaltige Entwicklung“	175
Abbildung 68:	Einteilung von Siedlungsabfällen	176
Abbildung 69:	Theoretisches Biomethanpotenzial aus Abfällen der Biotonne pro Ort in Nm ³ CH ₄ /ha	179
Abbildung 70:	Biomethangaspotenzial aus Abfällen der Biotonne im Vergleich mehrerer Studien	180
Abbildung 71:	Entwicklung und Prognose der Biotonne von 1996 bis 2030 (Basisjahr: 1996=100 %).....	181
Abbildung 72:	Theoretisches Biomethanpotenzial von Biotonne in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	182
Abbildung 73:	Theoretisches Biomethanpotenzial aus Grünschnitt pro Ort in Nm ³ CH ₄ /ha.....	184
Abbildung 74:	Biomethangaspotenzial aus Grünschnitt im Vergleich mehrerer Studien.....	185
Abbildung 75:	Entwicklung und Prognose des Grünschnitts von 1996 bis 2030 (Basisjahr: 1996=100 %).....	186
Abbildung 76:	Theoretisches Biomethanpotenzial von Grünschnitt in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	187
Abbildung 77:	Theoretisches und technisches Biomethanpotenzial aus Restmüll pro Ort in Nm ³ CH ₄ /ha.....	189
Abbildung 78:	Biomethangaspotenzial aus Restmüll im Vergleich mehrerer Studien.....	190

Abbildung 79:	Entwicklung und Prognose des Restmülls von 1996 bis 2030 (Basisjahr: 1996=100 %)	191
Abbildung 80:	Theoretisches Biomethanpotenzial von Restmüll für in Nm ³ CH ₄ /ha 2015, 2020 und 2030	191
Abbildung 81:	Theoretisches Biomethanpotenzial aus Großküchen und Speiseabfällen pro Ort in Nm ³ CH ₄ /ha	194
Abbildung 82:	Biomethangaspotenzial aus Speiseresten der Großküchen und Kantinen im Vergleich mehrerer Studien	195
Abbildung 83:	Entwicklung und Prognose der Speisereste von 2002 bis 2030 (Basisjahr: 2002=100 %)	196
Abbildung 84:	Theoretisches Biomethanpotenzial von Speiseresten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	197
Abbildung 85:	Theoretisches , technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Supermarktresten in Nm ³ CH ₄ /ha	199
Abbildung 86:	Biomethangaspotenzial aus Supermarktresten im Vergleich mehrerer Studien	200
Abbildung 87:	Entwicklung und Prognose der Supermarktreste von 1996 bis 2030 (Basisjahr: 1996=100 %)	201
Abbildung 88:	Theoretisches Biomethanpotenzial von Supermarktresten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	202
Abbildung 89:	Pflegeflächen an Autobahnen und restlichen Straßen nach	203
Abbildung 90:	Straßenbegleitgrünermittlung	204
Abbildung 91:	Querschnitt einer Autobahn	204
Abbildung 92:	Theoretisches und technisches Biomethanpotenzial aus Straßenbegleitgrün von Autobahnen pro Autobahnmeisterei in Nm ³ CH ₄ /ha	206
Abbildung 93:	Straßenquerschnitt von Kreisstraßen	207
Abbildung 94:	Straßenquerschnitt von Landstraßen	207
Abbildung 95:	Straßenquerschnitt von Bundesstraßen	207
Abbildung 96:	Theoretisches und technisches Biomethanpotenzial aus Straßenbegleitgrün von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen pro Straßenmeisterei in Nm ³ CH ₄ /ha	209
Abbildung 97:	Biomethangaspotenzial aus Straßenbegleitgrün aller Straßen des überörtlichen Verkehrs im Vergleich mehrerer Studien	210
Abbildung 98:	Biomethangaspotenzial aus Straßenbegleitgrün von Bundes-, Land- und Kreisstraßen im Vergleich mehrerer Studien	211
Abbildung 99:	Biomethangaspotenzial aus Straßenbegleitgrün von Autobahnen im Vergleich mehrerer Studien	211

Abbildung 100: Entwicklung und Prognose des Straßenbegleitgrüns an Autobahnen von 1970 bis 2030 (Basisjahr: 1970=100%) und sonstigen Straßen von 1985 bis 2030 (Basisjahr: 1985=100%)	212
Abbildung 101: Theoretisches Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an Autobahnen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	213
Abbildung 102: Theoretisches Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an sonstigen Straßen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	214
Abbildung 103: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Summenpotenzial kommunaler Einsatzstoffe in Nm ³ CH ₄ /ha.....	215
Abbildung 104: Theoretisches Summenpotenzial kommunaler Reststoffe in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	216
Abbildung 105: Betrachtete industrielle Reststoffe zur Erzeugung von Biogas..	217
Abbildung 106: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Biertreber in Nm ³ CH ₄ /ha	221
Abbildung 107: Biomethangaspotenzial aus Biertreber im Vergleich mehrerer Studien.....	222
Abbildung 108: Entwicklung des Bierausstoßes in Vergangenheit und Zukunft	224
Abbildung 109: Theoretisches Biomethanpotenzial von Biertreber in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	224
Abbildung 110: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Weintrester in Nm ³ CH ₄ /ha	227
Abbildung 111: Biomethangaspotenzial aus Weintrester im Vergleich mehrerer Studien.....	228
Abbildung 112: Entwicklung der Weinproduktion in Vergangenheit und Zukunft	229
Abbildung 113: Theoretisches Biomethanpotenzial von Weintrester in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	229
Abbildung 114: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Schlachttresten in Nm ³ CH ₄ /ha.....	233
Abbildung 115: Entwicklung der Tierzahlen von 1950 bis 2011 und Prognose bis 2030	234
Abbildung 116: Entwicklung der Tierbestände in Großvieheinheiten (GVE) in Vergangenheit und Zukunft.....	235
Abbildung 117: Theoretisches Biomethanpotenzial von Schlachttresten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	236
Abbildung 118: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Molke in Nm ³ CH ₄ /ha..	238
Abbildung 119: Biomethangaspotenzial aus Rückständen der Milchverarbeitung im Vergleich	239
Abbildung 120: Entwicklung des Milchkuhbestands und der Milchleistung in Deutschland	240

Abbildung 121: Entwicklung und Prognose der Milchverarbeitung von 1999 bis 2030	241
Abbildung 122: Theoretisches Biomethanpotenzial von Molke in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	241
Abbildung 123: Zuckerproduktion in Deutschland von 2007/08 bis 2010/11.....	242
Abbildung 124: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial aus Rübenschnitzel/Melasse in Nm ³ CH ₄ /ha	243
Abbildung 125: Biomethangaspotenzials aus Rübenschnitzel/Melasse im Vergleich	244
Abbildung 126: Entwicklung des Zuckerverbrauchs pro Kopf und Jahr in Deutschland seit 1840.....	245
Abbildung 127: Entwicklung und Prognose der Zuckerverarbeitung von 2007 bis 2030	246
Abbildung 128: Theoretisches Biomethanpotenzial von Rübenschnitzel und Melasse in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	247
Abbildung 129: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Kartoffelschalen in Nm ³ CH ₄ /ha.....	248
Abbildung 130: Entwicklung und Prognose der Produktionsmengen in der kartoffelverarbeitenden Industrie von 2006 bis 2030	249
Abbildung 131: Theoretisches Biomethanpotenzial von Kartoffelschalen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	249
Abbildung 132: Biodieselproduktion in Deutschland von 2003 bis 2010	250
Abbildung 133: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Rohglycerin in Nm ³ CH ₄ /ha	251
Abbildung 134: Biogaspotenzial aus Rückständen der Biodieselproduktion im Vergleich	252
Abbildung 135: Entwicklung und Prognose der Biodieselproduktion und dessen Absatzforderung gegenüber dem Dieselkraftstoffverbrauch von 2005 bis 2030	253
Abbildung 136: Theoretisches Biomethanpotenzial von Rohglycerin in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	254
Abbildung 137: Bioethanolproduktion in Deutschland von 2005 bis 2010	255
Abbildung 138: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Schlempe in Nm ³ CH ₄ /ha	256
Abbildung 139: Entwicklung und Prognose der Bioethanolproduktion und dessen Absatzforderung gegenüber dem Dieselkraftstoffverbrauch von 2005 bis 2030	258
Abbildung 140: Theoretisches Biomethanpotenzial von Schlempe in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	258
Abbildung 141: Rapsverarbeitung in Deutschland von 2007 bis 2010	259

Abbildung 142: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Rapspresskuchen in Nm ³ CH ₄ /ha.....	260
Abbildung 143: Biomethangaspotenzial aus Rapspresskuchen im Vergleich mehrerer Studien	261
Abbildung 144: Entwicklung und Prognose der Rapsverarbeitung von 2007 bis 2030	262
Abbildung 145: Theoretisches Biomethanpotenzial von Rapspresskuchen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030.....	263
Abbildung 146: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Summenpotenzial industrieller Einsatzstoffe in Nm ³ CH ₄ /ha	264
Abbildung 147: Theoretisches Summenpotenzial industrieller Reststoffe in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	265
Abbildung 148: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Summenpotenzial der Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ aller betrachteten Einsatzstoffe in Nm ³ CH ₄ /ha im IST-Stand ...	266
Abbildung 149: Nachhaltiges Potenzial von Mais in Nm ³ CH ₄ /ha auf Landkreisebene und Ackerflächen.....	267
Abbildung 150: Entwicklung des wirtschaftlich/ nachhaltigen Biomethanpotenzials für landwirtschaftliche, industrielle und kommunale Reststoffe in den Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“	271
Abbildung 151: Theoretisches Summenpotenzial aller betrachteten Substrate in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030 unter Berücksichtigung des Szenarios „Nachhaltige Entwicklung“ für den Maisanbau	274
Abbildung 152: Wirtschaftlich/ nachhaltiges Summenpotenzial aller betrachteten Substrate in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030 unter Berücksichtigung des Szenarios „Nachhaltige Entwicklung“ für den Maisanbau	275
Abbildung 153: Entwicklung der Biogasanlagenzahl und installierten elektrischen Leistung	277
Abbildung 154: Standorte der Biogaserzeugungsanlagen in Deutschland (elektrische Nennleistung in kW).....	278
Abbildung 155: Standorte der Biogaseinspeiseanlagen in Deutschland (eingespeiste Biomethanmenge in Nm ³ /h).....	279
Abbildung 156: Ackerflächennutzung durch Biogasanlagen.....	281
Abbildung 157: Vermiedene THG-Emissionen (in Tonnen CO ₂ -Äquivalent/ Jahr; eingesetzte Primärenergie: Biogas aus der Maisvergärung (Ertrag von 1 ha/a)) in Abhängigkeit des Nutzungsgrades im Vergleich zum deutschen Strommix.....	283
Abbildung 158: Ausschlussgebiete (violett) für die Errichtung einer Biogas- bzw. Biogaseinspeiseanlage	286

Abbildung 159: Überregionales Erdgasnetz in Deutschland und Einzugsgebiete für Biogaseinspeiseanlagen	287
Abbildung 160: Schematische Darstellung der Biomethanherzeugungspotenziale (IST-Stand) im Vergleich zu den aktuellen Produktionsmengen	288
Abbildung 161: Anteil des wirtschaftlichen/nachhaltigen Biomethanpotenzials bezogen auf die minimale Erdgasabsatzmenge (Angaben in Prozent)	289
Abbildung 162: Vergleich des Biomethanherzeugungspotenzial aus [SCHOLWIN 2007] mit den Ergebnissen des DVGW-Biogasatlas in den Substratgruppen Landwirtschaft, Industrie und Kommune im IST-Stand	306
Abbildung 163: Vergleich des Biomethanherzeugungspotenzial aus [DVGW 2005] mit den Ergebnissen des DVGW-Biogasatlas in den Substratgruppen Landwirtschaft, Industrie und Kommune im IST-Stand.....	308
Abbildung 164: Prognose des Biomethanherzeugungspotenzials aus Mais im Vergleich	309
Abbildung 165: Einsatzsubstrate und Potenziale	315
Abbildung 166: Maisanbau auf Landkreisebene in Nm ³ CH ₄ /ha	315
Abbildung 167: aktuelles theoretisches, technisches und wirtschaftliches Summenpotenzial der Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ aller betrachteten Einsatzstoffe in Nm ³ /ha Biomethan	316
Abbildung 168: Schematische Darstellung der aktuellen Biogaserzeugung und den Biomethanpotenzialmengen.....	317
Abbildung 169: Entwicklung der analysierten Biogaspotenziale	318
Abbildung 170: Aktuell erzeugte Biogasmenge im Vergleich zu den Ausbaupotenzialen bis zum Jahr 2030	319
Abbildung 171: Biomethanherzeugungspotenzial Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ im Vergleich zu den klimapolitischen Zielen	320
Abbildung 172: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von tierischen Exkrementen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	366
Abbildung 173: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Mais in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030, Szenario „business as usual“	367
Abbildung 174: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Mais in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030, Szenario „Nachhaltige Entwicklung“.....	368
Abbildung 175: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Dauergrünland in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	369

Abbildung 176: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Raps- und Getreidestroh in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	370
Abbildung 177: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Kartoffel- und Rübenblatt in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	371
Abbildung 178: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von landwirtschaftlichen Substraten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	372
Abbildung 179: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Biotonne in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	373
Abbildung 180: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Grünschnitt in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	374
Abbildung 181: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Restmüll für in Nm ³ CH ₄ /ha 2015, 2020 und 2030	375
Abbildung 182: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Speiseresten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	376
Abbildung 183: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Supermarktresten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	377
Abbildung 184: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an Autobahn in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	378
Abbildung 185: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an sonstigen Straßen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	379
Abbildung 186: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von kommunalen Substraten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	380
Abbildung 187: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Biertreber in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	381
Abbildung 188: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Weintrester in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	382
Abbildung 189: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Schlachtresten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	383

Abbildung 190: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Molke in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	384
Abbildung 191: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Rübenschnitzel und Melasse in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	385
Abbildung 192: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Kartoffelschalen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	386
Abbildung 193: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Rohglycerin in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	387
Abbildung 194: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Schlempe in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	388
Abbildung 195: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Rapspresskuchen in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	389
Abbildung 196: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von industriellen Substraten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	390
Abbildung 197: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von industriellen Substraten in Nm ³ CH ₄ /ha für 2015, 2020 und 2030	391

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der verwendeten Dokumente, ihre Abkürzungen und Relevanz	34
Tabelle 2:	Größenordnung für die Stickstoffumsetzung zwischen Boden-Pflanze-Atmosphäre/Hydrosphäre, Quelle: Eigene Darstellung nach	55
Tabelle 3:	Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern verschiedener Tierarten	62
Tabelle 4:	Menge und Anteil des enthaltenen Stickstoffs für Feldfrüchte mit Ertragsdaten, der durch Ernteprodukte entzogen wird	62
Tabelle 5:	Menge und Anteil des enthaltenen Stickstoffs für Feldfrüchte ohne Ertragsdaten, der durch Ernteprodukte entzogen wird	63
Tabelle 6:	Phosphor aus Wirtschaftsdünger verschiedener Tiere	64
Tabelle 7:	P-Gehalte der Ernteprodukte	64
Tabelle 8:	N- und P-Flächenbilanz der Bundesländer	66
Tabelle 9:	Überblick Rahmenbedingungen der Biomassepotenzialberechnung für Biogasanlagen auf Basis von Nährstoffbilanzen	71
Tabelle 10:	Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) Berechnungsmodell „business as usual“	76
Tabelle 11:	Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“	81
Tabelle 12:	Übersicht über die erreichte Qualität der bundesweiten Datenzusammenstellung der verwendeten Geobasisdaten	90
Tabelle 13:	Gesamtfläche der Grundwasser- und Heilquellenschutzgebiete (qualitative Schutzzonen) in Deutschland sowie durchschnittlicher Ackerflächenanteil der WSG's und Anteil der WSG-Fläche an der gesamten Ackerfläche Deutschlands	92
Tabelle 14:	Unterschiedliche Restriktionen hinsichtlich der Gärproduktausbringung des Energiepflanzenanbaus und des Biogasanlagenbaus aufgrund der Schutzgebietskategorie	94
Tabelle 15:	Darstellung der Standardfruchtfolgen an den einzelnen EVA-Standorten (Biogassubstratnutzung grün, Kornnutzung gelb hinterlegt	105
Tabelle 16:	Durchschnittliche, maximale Transportradien in Abhängigkeit vom Substrat	120
Tabelle 17:	Marktpreise und EEG-Vergütung der untersuchten Substrate ..	122
Tabelle 18:	Anteil der wirtschaftlichen Verfügbarkeit am technischen Potenzial der untersuchten Substrate	124
Tabelle 19:	Kostenpositionen Biogasaufbereitung/ -einspeisung	125
Tabelle 20:	Potenziale aus Rindergülle	128

Tabelle 21:	Potenziale aus Schweinegülle	128
Tabelle 22:	Potenziale aus Geflügelgülle.....	129
Tabelle 23:	Entwicklung des Exkrementeanfalls von 1950 bis 2010.....	133
Tabelle 24:	Prognose des Exkrementeanfalls von 2010 bis 2030	133
Tabelle 25:	Maisanbauflächen und wirtschaftliches Potenzial der Szenarien "business as usual" und "Nachhaltige Entwicklung"	138
Tabelle 26:	Prognostizierte maximale Maisanbaufläche je Szenario der Bundesrepublik Deutschland in ha.....	142
Tabelle 27:	Grundfutterbedarf bei Rindern, Pferden und Schafen	148
Tabelle 28:	Energiegehalte von Grundfuttermitteln.....	149
Tabelle 29:	Wirtschaftliche Verfügbarkeit von Dauergrünlandschnitt in Abhängigkeit der Höhenlage	151
Tabelle 30:	Entwicklung Dauergrünland	154
Tabelle 31:	Wirtschaftliche Verfügbarkeit in Abhängigkeit der Höhenlage über mehrere Jahre.....	155
Tabelle 32:	Korn-zu-Stroh-Verhältnisse unterschiedlicher Getreidearten	156
Tabelle 33:	Methoden zur Ermittlung eines nachhaltigen Getreidestrohpotenzials	157
Tabelle 34:	Getreide- und Rapsstrohaufwuchs in Deutschland 2007	158
Tabelle 35:	theoretische Biomethangaserträge der Strohmenge in Mio. Nm ³ CH ₄ /a von 2010 sowie den Prognosejahren 2015, 2020 und 2030	164
Tabelle 36:	Kartoffel- und Rübenblattaufwuchs in Deutschland nach.....	166
Tabelle 37:	Biomethangaserträge von Rüben- und Kartoffelblatt in Mio. Nm ³ CH ₄ /a von 2010 sowie den Prognosejahren 2015, 2020 und 2030	171
Tabelle 38:	Bergungsraten von Rapsstroh, Kartoffel- und Rübenblatt.....	172
Tabelle 39:	Zukünftige Biomethanpotenziale landwirtschaftlicher Substrate in Mrd. Nm ³ Biomethan pro Jahr für das Szenario „Nachhaltige Entwicklung“	175
Tabelle 40:	Bioabfallaufkommen (2007) differenziert nach Siedlungsstruktur	177
Tabelle 41:	Abfallmenge 2009 in Biotonnen nach Bundesländern	178
Tabelle 42:	Grünschnittmenge 2009 nach Bundesländern	183
Tabelle 43:	Grünabfallauskommen (2007) differenziert nach Siedlungsstruktur	183
Tabelle 44:	Organischer Anteil im Restmüll für verschiedene Kategorien ...	188
Tabelle 45:	Speisereste aus Großküchen und Kantinen für 2006 nach Bundesländern.....	193

Tabelle 46:	Kategorisierung von Supermärkten mit Food-Anteil.....	198
Tabelle 47:	Pflegestreifen der Straßen des überörtlichen Verkehrs.....	203
Tabelle 48:	Potenzial des Straßenbegleitgrüns von Autobahnen nach Bundesländern.....	205
Tabelle 49:	Potenzial des Straßenbegleitgrüns von Bundes-, Land- und Kreisstraßen nach Bundesländern.....	208
Tabelle 50:	Zukünftige Biomethanpotenziale kommunaler Substrate in Mio. Nm ³ Biomethan pro Jahre	216
Tabelle 51:	Übersicht zu Einflussgrößen der Prognosen je Reststoff	218
Tabelle 52:	Regionale Verteilung der Brauereien und jeweilige Produktionsmenge	220
Tabelle 53:	Bierverbrauch pro Kopf und Jahr in Deutschland.....	223
Tabelle 54:	Rebflächen, Ertrag und Erntemenge der einzelnen Bundesländer in 2011	226
Tabelle 55:	Schlachtzahlen der betrachteten Schlachtbetriebe in Stück	230
Tabelle 56:	Lebend- und Schlachtgewichte der betrachteten Tierkategorien in kg	231
Tabelle 57:	Regionale Verteilung der Schlachtreste und Biomethangaspotenziale.....	232
Tabelle 58:	Fleischverzehr pro Jahr in kg je Kopf der Bevölkerung im Vergleich	235
Tabelle 59:	Prognose der Tierzahlen bis 2030 in Mio. GVE	235
Tabelle 60:	Regionale Verteilung von Milch und Biomethangaspotenziale..	237
Tabelle 61:	Pro-Kopf-Verbrauch an Zucker in kg/(EW*a) einiger Länder im Vergleich	245
Tabelle 62:	Entwicklung des Biodiesel-/Dieselkraftstoffabsatzes bis 2030 (in Mio. t).....	253
Tabelle 63:	Entwicklung von Bioethanol und Ottokraftstoff bis 2030 (in Mio. t)	257
Tabelle 64:	Deutschlandweite Biomethanpotenziale aller Substrate im IST-Stand.....	269
Tabelle 65:	Deutschlandweite prognostizierte Biomethanpotenziale aller Substrate (Szenario: „Nachhaltige Entwicklung“).....	272
Tabelle 66:	Restriktive Faktoren für die Ausweisung von Vorzugsgebieten für die Errichtung von Biogas- und Einspeiseanlagen	285
Tabelle 67:	Selektive Faktoren für die Ausweisung von Vorzugsgebieten für die Errichtung von Biogas- und Einspeiseanlagen	286
Tabelle 68:	Biomethanerzeugungspotenziale von Mais im Vergleich	309

1 Begriffe und Definitionen

Um im vorliegenden Bericht das Verständnis zu erleichtern, werden in diesem Abschnitt die wesentlichen Schlüsselbegriffe mit einer Definition hinterlegt. Dies erscheint den Autoren notwendig, da es auf dem Gebiet der Biogaserzeugung und –-einspeisung bedingt durch das Wirken verschiedener Gruppen ähnliche Begriffe mit unterschiedlicher Bedeutung gibt.

Atmosphärische Deposition

Die atmosphärische Deposition bezeichnet Stoffflüsse aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche. Durch Verbrennungs- und Produktionsprozesse gelangen Schadstoffe in gasförmiger, gelöster oder partikelgebundener Form in die unterste Schicht der Erdatmosphäre [SCHEFFER 2002].

Betrieblicher Nährstoffüberschuss

Der betriebliche Nährstoffüberschuss entspricht dem Saldo aus dem Nährstoffvergleich. Er ergibt sich aus der berechneten Differenz zwischen Nährstoffzufuhr und -abfuhr pro ha und Jahr. Gemittelt über drei Jahre (2009 bis 2011) dürfen nach § 6 der Düngeverordnung maximal $60 \text{ kg N}_{\text{ges}}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ und $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5/(\text{ha} \cdot \text{a})$ mehr zuzus abgeführt werden [DüV 2009].

Biogas

Biogas ist ein fermentativ erzeugtes Gas aus organischem Material (NawaRo, Gülle, Bioabfälle, ...). Es besteht aus den Hauptkomponenten Methan und Kohlenstoffdioxid. Der Begriff umfasst sowohl das Rohbiogas direkt nach dem Fermenter, als auch geringfügig aufbereitetes Biogas - nach Grobentschwefelung und Trocknung ohne CO_2 -Entfernung – wie es beispielsweise einem BHKW zugeführt wird.

Biomethan

Innerhalb dieser Studie wird unter Biomethan Biogas verstanden, welches auf Erdgasqualität aufbereitet wurde. Da der Methananteil des Biogases den Energieinhalt bestimmt, werden die ausgewiesenen Potenziale auf den Methananteil reduziert und als **Biomethanerzeugungspotenziale** bezeichnet sowie in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ pro Jahr angegeben. Der Begriff Biomethan ist zudem vom Gesetzgeber definiert. Weitere Bezeichnungen wie Bioerdgas oder aufbereitetes Biogas H oder Biogas L finden in der Praxis ebenso Anwendung, werden aber aus Gründen der Einheitlichkeit innerhalb dieser Studie nicht benutzt.

Brache/ Brachland

Ein Brachland ist eine unbestellte Ackerfläche, die der Erholung des Bodens und der Wiederanreicherung mit natürlichen Nährstoffen dient. Wird die Ackerfläche ganzjährig liegengelassen, so spricht man von einer reinen Brache, Teil- oder

Halbbrache lässt man meist nach einem Kleeschnitt oder nach Beweidung für den Rest des Jahres eintreten. Eine Dreifelderwirtschaft beanspruchte im mehrjährigen Durchschnitt ca. 1/3 der Ackerfläche als Brache [WISSENMEDIA 2013].

Brutto- bzw. Netto-Nährstoffausscheidung

Die Bruttonährstoffausscheidung ist die tatsächliche Nährstoffmenge, die von einer Tierart pro Jahr ausgeschieden wird. Die Nährstoffausscheidung wird entweder pro Stallplatz und Jahr oder pro Tier und Jahr angegeben. Nach Abzug der Stall- und Lagerverluste ergibt sich die Nettonährstoffausscheidung, daraus berechnet sich die verfügbare Menge Wirtschaftsdünger aus eigener Tierhaltung. Bei der Nährstoffbilanzierung nach landwirtschaftlichem Fachrecht werden dann noch die anfallenden Ausbringungsverluste bei der Anwendung von Wirtschaftsdünger abgezogen. Die anrechenbaren Prozentwerte für alle drei Formen der Verluste ergeben sich je nach Tierart und Haltungsform aus Anlage 6 der Düngeverordnung [DüV 2009].

Cross Compliance

Als Cross Compliance wird die Bindung der EU-Agrarzahlungen an Verpflichtungen im Umweltschutz, bei der Lebensmittel- und Futtermittelsicherheit, bei Tiergesundheit und im Tierschutz bezeichnet. Die EU setzt im internationalen Vergleich hohe Umweltstandards. Direktzahlungen aus dem EU-Agrarhaushalt dienen Ausgleichszahlungen für höhere Produktionskosten, die den landwirtschaftlichen Betrieben aufgrund der hohen Standards im Vergleich mit ihren Konkurrenten in anderen Ländern entstehen [BMELV 2013].

Düngemittel

„Düngemittel sind Stoffe, die dazu bestimmt sind, unmittelbar oder mittelbar Nutzpflanzen zugeführt zu werden, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern. Ausgenommen sind Stoffe, die überwiegend dazu bestimmt sind, Pflanzen vor Schadorganismen und Krankheiten zu schützen oder die Lebensvorgänge von Pflanzen zu beeinflussen, ohne zur Ernährung von Pflanzen bestimmt zu sein, sowie Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate, Pflanzenhilfsmittel, Kohlenstoffdioxid, Torf und Wasser“ [DüMG 2009].

FFH-Gebiet

Fauna-Flora-Habitat Gebiete werden innerhalb dieser Studie entsprechend der Richtlinie 92/43/EWG (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie) der Europäischen Union betrachtet. Hierbei handelt es sich um ein aus Gründen des Natur- und Tierschutzes geschütztes Gebiet.

Fermentation

Die Umwandlung von organischem Material durch Mikroorganismen nennt man Fermentation. Es ist eine Form der anaeroben Stoffwechsellung [CHEMIE 2013a].

GasNZV

Gasnetzzugangsverordnung [GasNZV 2010]

Gärprodukte / Gärrest / Gärrückstand

In Biogasanlagen fallen bei der Produktion von Biogas neben dem Methan Biogasgärprodukte an. Die flüssigen und festen Rückstände entstehen aus der Vergärung von Biomasse aus Energiepflanzen, Rest- oder Abfallstoffen. Sie werden auf landwirtschaftlichen Flächen zwecks Nährstoffversorgung ausgebracht [LFL 2013a]. Die drei genannten Begriffe werden innerhalb des Berichtes mit gleicher Bedeutung verwendet.

Geobasisdaten

Geobasisdaten sind amtliche Geodaten mit der Geometrie (Lage, Ausdehnung) der Flächen (z. B. Ackerflächen, Gewässernetz, etc.) für ein geografisches Informationssystem.

GIS

Geografisches Informationssystem

GWNB

Die Grundwasserneubildung ist nach DIN 4049-3 (1994) als „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“ definiert. Sie ist ein wichtiges Maß für die natürliche Regenerationsfähigkeit der Grundwasserressourcen. Der größte Faktor der GWNB ist das aus Niederschlag gebildete Sickerwasser. Die GWNB wird durch die Niederschlagshöhe (N) abzüglich tatsächlicher Evapotranspiration (ET) und schneller Abflusskomponenten (QD) berechnet: $GWNB = N - ET - QD$ [LFU 2013] Die Grundwasserneubildungsrate ist hierbei das Wasservolumen, das dem Grundwasserkörper eines bestimmten Gebiets pro Zeiteinheit zugeführt wird. In ebenem Gelände entspricht die GWNB annähernd der Sickerwasserrate

GW&HQSG

Grundwasser- und Heilquellenschutzgebiete

Karst

Als Karst werden durchlässige, wasserlösliche Gesteinsformen bezeichnet, die durch Oberflächen- und Grundwasser ausgelaugt werden. Dies können beispielsweise Kalksteine, Gipse und Salze sein, bei denen durch Lösungsvorgänge Karsterscheinungen auftreten. Oberflächliche Karsterscheinungen können Dolinen, Karren, Schlotten und Erdorgeln sein, unterirdisch treten Karstseen, -quellen oder Flussschwinden [SCHORN 2013].

Mineraldünger

Düngemittel mineralischer oder synthetischer Herkunft mit einem oder mehreren Pflanzennährstoffen (N, P, K, Mg, Kalk) werden als Mineraldünger bezeichnet. Er besteht aus anorganischen Bindungen, organische Düngemittel dahingegen aus organischen Bindungen. Mittels der Mineraldünger lässt sich eine gezielte Ernährung erreichen, die auf das Wachstum der Pflanze abgestimmt ist [UMWELTDATENBANK 2013].

Mineralisierung

Als Mineralisation wird der mikrobielle Abbau abgestorbener organischer Substanz zu anorganischen Komponenten verstanden. Die freigesetzten Stoffe gelangen zurück in den Nährstoffkreislauf, werden an Bodenkolloide gebunden oder aus dem Boden ausgewaschen. Je nach Zusammensetzung und Nährstoffgehalt der organischen Substanz variiert die Abbaugeschwindigkeit. So können Zucker und Aminosäuren leichter umgewandelt werden als Lignin- oder Celluloseverbindungen [GEODZ 2013].

Nährstoffsaldo

Ziel einer Nährstoffbilanz ist der Überblick über die Summe der Zu- und Abflüsse von Nährstoffen. Ist die Bilanz ausgeglichen sind gravierende Düngefehler kaum zu erwarten. Positive Salden zeigen einen Nährstoffüberschuss (Nährstoffanreicherung), negative Salden eine Nährstoffarmut (Nährstoffabbau). Der Nährstoffvergleich kann auf Basis eines Einzelschlags, Feld-Stall-Basis oder Hoforbasis erfolgen [CHEMIE 2013b].

Pasteurisierung

Das Verfahren dient der Abtötung von Mikroorganismen und der Inaktivierung von Enzymen. Es umfasst das kurzzeitige Erhitzen von Substanzen auf 60-90°C. Durch die Hitzeeinwirkungen werden die meisten Lebensmittelverderber wie Milchsäurebakterien und Hefen sowie viele krankheitserregende Bakterien (z.B. Salmonellen) zuverlässig abgetötet, ohne Geschmack und Konsistenz der Lebensmittel zu beeinträchtigen [CHEMIE 2013c].

Potenzial

Ein Potenzial beschreibt eine unter definierten Einschränkungen maximal verfügbare Größe. Diese kann sowohl den derzeitigen Zustand als auch eine Prognose betreffen. Das **Biomethanerzeugungspotenzial** beschreibt innerhalb dieser Studie die Größe des generell erzeugbaren Methans aus der Fermentation von Biomasse. Eine Abstufung vom theoretischen zum technischen bzw. nachhaltigen sowie wirtschaftlichen Potenzial berücksichtigt Faktoren, welche vom jeweiligen Substrat abhängig sind.

Ramsar

Die Ramsar-Konvention bezeichnet das Übereinkommen über Feuchtgebiete (insbesondere als Lebensraum für Watt- und Wasservögel) von internationaler Bedeutung (Ramsar-Konvention, 02.03.1971)

Rohwasser

Rohwasser bezeichnet das Wasser, das direkt aus einem Gewässer entnommen wird. Es handelt sich dabei um unbehandeltes, noch nicht gereinigtes Wasser zum Zweck der Trinkwassergewinnung [RUSS 2013].

Rückspeisung

Bei der Rückspeisung oder **Rückverdichtung** werden Gase (Erdgas-/Biogasgemische) aus einem Teilnetz in Netze einer höheren Druckstufe zurückgespeist. Diese Maßnahme zur Kapazitätserhöhung kann z. B. im Fall einer Biogaseinspeisung in verbrauchsarmen Zeiten notwendig werden. [DVGW G 290] Die Rückspeisung erfolgt dabei über eine variable Druckregelung in den jeweiligen Netzen ohne eine Verdichtung. Bei der Rückverdichtung erfolgt tatsächlich eine Verdichtung zur Einspeisung in das Netz mit dem höheren Druckniveau.

Schadstoffarme Gärprodukte

z. B. Gärprodukte mit Gütesiegel „zur Ausbringung in WSG Zone III geeignet, vgl. Anlage A1

Sekundärrohstoffdünger

„Sekundärrohstoffdünger sind Abwässer, Fäkalien, Klärschlämme und ähnliche Stoffe aus Siedlungsabfällen und vergleichbare Stoffe aus anderen Quellen, jeweils auch weiterbehandelt und in Mischungen untereinander oder mit Stoffen versetzt, die im Sinne des Düngemittelgesetzes Düngemitteln, Wirtschaftsdüngern, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln entsprechen. Sekundärrohstoffdünger sind dazu bestimmt, unmittelbar oder mittelbar Nutzpflanzen zugeführt zu werden, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern“ [DüMG 2009].

Sickerwasser

Sickerwasser ist unterirdisches Wasser, das sich unter Einwirkung der Schwerkraft nach unten bewegt und so zur Grundwasserneubildung beiträgt. Bei der Passage durch den Boden können wasserlösliche Stoffe aus dem Wurzelraum ausgewaschen und mit dem Sickerwasser verfrachtet werden. Dadurch entsteht die Gefahr, dass das Grundwasser verunreinigt wird. Die Sickerwassermenge ist abhängig von der Niederschlagsmenge, der Verdunstung, der Wasseraufnahme durch Pflanzen sowie von den Bodeneigenschaften (Feldkapazität¹, Wasserleitfähigkeit und Wasserspannung).

Sorghum

Sorghum ist eine Hirsenart aus Äquatorialafrika. Sie besitzen ein hohes Biomassopotenzial, eine hohe Trockentoleranz und ein hohes Wasser- und Nährstoffaneignungsvermögen [TLL 2013].

SPA

Special protected areas werden innerhalb dieser Studie entsprechend der Vogelschutz-Richtlinie (2009/147/EG) als geschützte europäische Vogelschutzgebiete behandelt.

SZ

Schutzzone

Überhangbewertung

Für die Berechnung des Stickstoffüberhangs (N-Überhangs) bei der organischen Düngung wird nur der Stickstoffanteil zugrunde gelegt, der pflanzenverfügbar ist.

Wirtschaftsdünger

„Wirtschaftsdünger sind Dünger aus tierischen Ausscheidungen. Das sind Gülle, Jauche, Stallmist sowie ähnliche Nebenerzeugnisse (beispielsweise Hühnerkot) aus der landwirtschaftlichen Produktion, auch weiterbehandelt, die dazu bestimmt sind, unmittelbar oder mittelbar Nutzpflanzen zugeführt zu werden, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern“ [DüMG 2009]. Gärprodukte aus der Biogaserzeugung (einschließlich NawaRo) sind ebenfalls Wirtschaftsdünger [LFL 2013b].

¹ Unter Feldkapazität versteht man diejenige Wassermenge, die 1 - 2 Tage nach Wasserzufuhr im Boden gegen die Schwerkraft gehalten werden kann [SCHEFFER 2002].

WRRL

Europäische Wasserrahmenrichtlinie Richtlinie 2000/60/EG (vgl. Abschnitt 3.1.2)

WSG

Wasserschutzgebiet

2 Zielstellung und Strategie des Projektes

Mit Stand vom 31.03.2013 sind in Deutschland ca. 120 Biogaseinspeiseanlagen in Betrieb, die ca. 71.200 Nm³/h Biomethan produzieren. Ca. 50 Anlagen sind in Planung oder Bau [BGPARTNER 2013]. Um die klimapolitischen Ziele zu erreichen, hat die Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) den Zweck, Rahmenbedingungen zu definieren, um 2030 10 Milliarden Normkubikmeter pro Jahr in das Erdgasnetz einzuspeisen und selbiges zu substituieren [GasNZV 2010]. Dies sind ambitionierte Ziele, welche in verschiedenen Studien der vergangenen Dekade entwickelt und durch politische Entscheidungsträger in die genannte Verordnung implementiert wurden.

Mit dem zunehmenden Verbrauch der landwirtschaftlichen Flächen für den Anbau von Energiepflanzen entstehen aber auch Konkurrenzsituationen zu anderen Nutzungsarten, sei es durch den Futtermittelanbau, den Anbau von Pflanzen für die Lebensmittelindustrie oder Energiepflanzen für andere Zwecke als Biogas insbesondere für Kraftstoffe. Darüber hinaus beeinflusst der extensive Anbau in allen Bereichen der Landwirtschaft auch die Bodenqualität und nicht zuletzt die Ressource Trinkwasser. Über die Wasserrahmenrichtlinie der EU sind die Mitgliedstaaten dazu angehalten die Wasserqualität der heimischen Gewässer nachhaltig zu verbessern. Neben diesen Aspekten treten zunehmend auch Akzeptanzprobleme bei der betroffenen Bevölkerung auf, die sich die Frage stellt, ob die Nachhaltigkeit dieser Strategie noch gegeben ist. Die einseitige Fokussierung in der Förderung der Biogasproduktion auf nachwachsenden Rohstoffen hat auch dazu geführt, dass andere Rohstoffe – kommunale und industrielle organische Reststoffe – für die Biogasproduktion außer Acht gelassen wurden. Diese zusätzlichen Potenziale können dazu genutzt werden, Lücken zu überbrücken. Das letzte Element in der Kette ist Bereitstellung von Biogas beim Endverbraucher – das Gasnetz. Dieses muss in der Lage sein lokal das produzierte Biogas aufzunehmen.

In diesem Zielkonflikt bewegen sich die zukünftigen Potenziale des erzeugbaren Biogases und damit auch die Möglichkeiten zur Erfüllung der Ziele der GasNZV. Den Bearbeitern des Projektes war es wichtig, über die reinen landwirtschaftlichen Potenziale des Energiepflanzenanbaus und der daraus folgenden Biogaserzeugung hinaus auch Aspekte der langfristigen positiven Beeinflussung der Boden- und Trinkwasserqualität sowie der Nutzung alternativer Rohstoffe zu berücksichtigen. Alle diese Elemente führen zu einem „nachhaltigen Biogaspotenzial“ welches von allen Betroffenen akzeptiert werden kann, Konflikte vermeidet und dennoch die Ziele der Energiewende unterstützt.

Um zu prüfen, ob die Biogasproduktion nachhaltig zu erreichen ist und um eine strategische Planung und Information für zukünftige Biogaseinspeiseprojekte zu ermöglichen, bedarf es einer regionsbezogenen Analyse der Ist-Situation und einer Abschätzung der Auswirkungen bei weiterem Ausbau.

Mit Hilfe dieser Analyse wird es einerseits möglich, zukünftige Schwerpunktgebiete für den Anbau von Energiepflanzen und die Biogaseinspeisung zu lokalisieren sowie andererseits eventuell notwendige Gasinfrastrukturanpassungen langfristig zu planen. In diese Betrachtung wird die Sicherung der Rohwasserqualität durch gewässerschützenden Energiepflanzenanbau und nachhaltiges pflanzenbedarfsgerichtetes Düngen mit Gärprodukten unter Beachtung von N- und P-Belastung

(Düngebelastung) des Bodens einbezogen. Den Entscheidungsträgern in Politik, Wirtschaft, Landwirtschaft und Genehmigungsbehörden wird somit eine Handlungs- und Argumentationshilfe erarbeitet, durch welche sie

- die Interessen der unterschiedlichen Akteure kanalisieren,
- mögliche zukünftige Biogas- und Biomethanausbaupfade bewerten und
- Nachhaltigkeitsaspekte insbesondere den Boden- und Gewässerschutz bei der Entwicklung berücksichtigen können.

Wesentliche Ziele des F&E-Vorhabens sind:

- die Erfassung und Darstellung der Einflüsse und Auswirkungen der Biogasnutzung für die betroffenen Akteure (Landwirtschaft, Gasversorgung, Wasserversorgung);
- die Darstellung eines nachhaltig erzeugbaren Biogaspotenzials für Deutschland sowie die Ermittlung des Einspeisepotenzials;
- Ausweisung von stark N bzw. P belasteten Böden, bei denen eine Ausbringung von Gärprodukten bedenklich ist und eventuell andere Nutzungs- bzw. Entsorgungsstrategien von Gärprodukten anzuwenden sind;
- Ausweis von bevorzugten landwirtschaftlichen Flächen zum Anbau von Energiepflanzen und zur pflanzenbedarfsgerechten Düngung mit Gärprodukten;
- der Weiterentwicklung der Gasinfrastruktur zur Aufnahme des Biomethans.

Die sich durch unterschiedliche Interessen der Akteure womöglich ergebenden Konflikte, werden benannt. Die potenziellen Maßnahmen zur Vermeidung von Konflikten und den Forschungsbedarf für die Sicherung der politischen Zielstellung zur Biogaseinspeisung werden erarbeitet.

Zur Lösung der Zielstellung wurden die verschiedenen Aspekte der Nachhaltigkeit und der Biogasnutzung betrachtet. Dazu wurde der vorliegende Bericht konsequent an der Verarbeitungskette ausgerichtet. In den ersten Kapiteln 3 und 4 werden zunächst die Aspekte des Nährstoffhaushaltes im Boden sowie die Beeinflussung von Gewässern und der Schutz der Trinkwasserressourcen untersucht. Diese Untersuchungen umfassen sowohl einschränkende Rahmenbedingungen als auch Möglichkeiten der Verbesserung des Bodens trotz einer Erweiterung der Biomethanproduktion. In diesem Zusammenhang erfolgt die Definition zweier Szenarien: „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ (s. Abbildung 1). Während ersteres Szenario sich auf die aktuell geltenden gesetzlichen Regelungen bezieht, liegen dem Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ weitere beschränkende Faktoren zugrunde.

Dies sind die Voraussetzungen für die Ermittlung der substratspezifischen Biomethanpotenziale, welche im Kapitel 6 ausführlich beschrieben werden. Dabei wird auf alle gegenwärtig für die Vergärung nutzbaren Biomassen aus Landwirtschaft, Kommunen und Industrie eingegangen, unabhängig von ihrer Bedeutung für die Produktion von Biogas. Den Bearbeitern war es wichtig die methodischen Ansätze genau zu beschreiben, um Transparenz herzustellen und eine hohe Genauigkeit der Ergebnisse zu erreichen. Gelegentlich werden dabei bisher überbewertete Substrate auf eine realistische Größenordnung verwiesen. In verschiedenen Stu-

fen werden die Potenziale von dem theoretisch möglichen über technisch, nachhaltig auf das wirtschaftliche Potenzial geführt. In diesem Zusammenhang wird eine Prognose zukünftiger Entwicklungen unter Berücksichtigung der Bodenverbesserung vorgenommen.

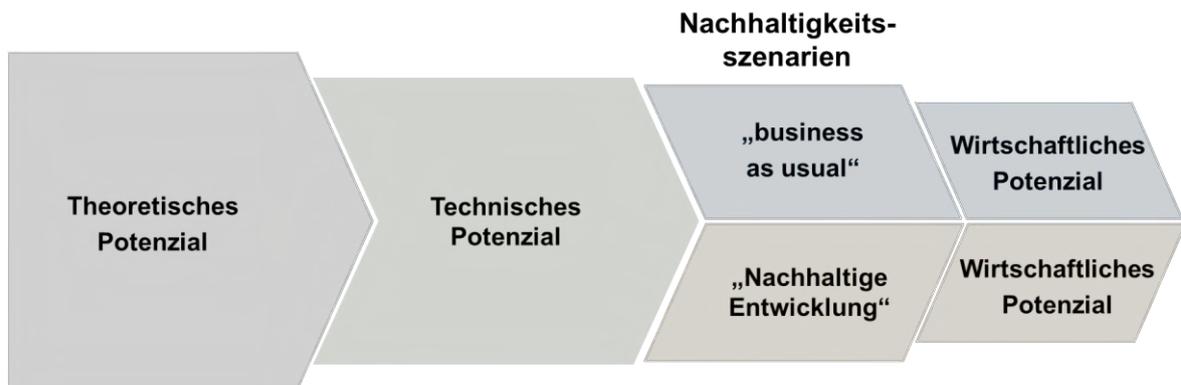


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Potenzialstufen in den betrachteten Szenarien

Ein wichtiges Element in der Verteilung des regenerativen Energieträgers Biomethan ist die vorhandene Erdgasinfrastruktur. Im Kapitel 5 wird die Methodik beschrieben, mit der eine wirtschaftliche Einspeisung von Biomethan sowie die Grenzen der Einspeisung bestimmt werden. Dabei wird im Wesentlichen auch auf die Lastverteilung der Gasnutzung eingegangen. Eine Rückspeisung bzw. Rückverdichtung wird zunächst nicht vorgesehen.

Aus den vorgenannten Ergebnissen werden in den abschließenden Kapiteln des Berichtes die Gebiete bestimmt, in denen Ausbaupotenzial für die Biogasproduktion besteht (Kapitel 9). Darüber hinaus werden Nutzungspfade von Biogas hinsichtlich ihres CO₂-Footprints betrachtet (Kapitel 8) und Handlungsempfehlungen für die verschiedenen Zielgruppen entwickelt (Kapitel 10). Ein kritischer Vergleich mit anderen Studien auf dem Gebiet der Biogaspotenzialanalyse (Kapitel 11) sowie der sich aus den Arbeiten ergebende Forschungsbedarf (Kapitel 12) runden den Abschlussbericht ab.

3 Landwirtschaftliche Grundlagen

Der Betrieb von landwirtschaftlichen Biogasanlagen führt notwendig zu einem von der Anlage ausgehenden Anfall an Gärprodukten, die in aller Regel wegen ihrer Düngewirkung (insbesondere bedingt durch den Gehalt an den Hauptnährelementen N und P) als Wirtschaftsdünger genutzt und aufgrund ihres hohen Flüssigkeitsanteils in der näheren Umgebung der Biogasanlage ausgebracht werden.

Stickstoff ist ein wichtiger Pflanzennährstoff; er wird in mineralischer Form als Ammonium (NH_4^+) oder Nitrat (NO_3^-) von den Pflanzen aus der Bodenlösung aufgenommen und zum Aufbau von Proteinen und Nukleinsäuren verwendet. Neben der pflanzenverfügbaren mineralischen Form liegt Stickstoff auch gebunden in organischen Stoffen vor (abgestorbene Pflanzenmasse, Humusstoffe usw.). Dieser wird erst mit der Zeit von Bodenorganismen durch die Mineralisation umgewandelt und dadurch wieder für die Pflanzen verfügbar. Organischer Stickstoff stellt also einen Speicher im Boden dar, der durch Mineralisierung langsam pflanzenverfügbar gemacht wird [KLOCKE 2010].

Um in der Landwirtschaft hohe Erträge zu erzielen, werden dem Boden die Hauptnährelemente N und P gezielt über mineralische Dünger oder durch Wirtschaftsdünger zugegeben, wobei die Humusbilanz (Humusaustrag und Humuseintrag durch Biomasse) erhalten bleiben muss. Im Gegensatz zum mineralischen Dünger weist Wirtschaftsdünger (z. B. Gülle, Gärprodukte) auch immer organische Stickstoff-Verbindungen auf. Diese können je nach Ausbringungsmenge aufgrund von Mineralisierungen auf längere Sicht zu Nährstoffüberschüssen im Boden führen, was wiederum bedingt durch Auswaschung eine Nitratbelastung des Grundwasserleiters und der Oberflächengewässer verursachen kann. Die Gefahr der Nitrat auswaschung ist zwischen Spätherbst und Frühjahr am größten, wenn Pflanzen keine Nährstoffe aufnehmen, die Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs aber ungehindert fortschreitet und hohe Sickerwasserraten auftreten. Daher gilt, dass je kleiner vor dem Winter der N_{min} -Restgehalt (mineralischer Stickstoff) ist, desto geringer ist auch das Risiko der Nitrat auswaschung [KLOCKE 2010].

Nitrat selbst kann in den im Trinkwasser zulässigen Konzentrationen (nicht mehr als 50 mg/l Nitrat) für Menschen als unbedenklich angesehen werden². Aus Nitrat kann im Körper (endogen) Nitrit gebildet werden. Daraus wiederum können Nitroverbindungen (dazu gehören Nitrosamine) entstehen, von denen sich viele im Tierversuch als krebserregend erwiesen haben [BfR 2009]. Durch den im Trinkwasser einzuhaltenden Grenzwert wird dieses Risiko minimiert.

Gebiete mit bereits hoher Nitratbelastung des Grundwassers sind nach EG-Wasserrahmenrichtlinie als sogenannte „gefährdete Grundwasserkörper“ ausgewiesen. Diese Gebiete wurden bei den Auswertungen separat betrachtet (vgl. Abschnitt 4.1.5). Die Folgen erhöhter Nitratkonzentrationen des Grundwassers für die Wasserversorgung werden in Abschnitt 4.4 „Schadstoffverlagerung und -ausbreitung im Boden und Grundwasser“ näher erläutert.

² http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwasserkommission/47_s_1018_1020_nitrat_im_trinkwasser.pdf

Die Gärproduktausbringung unterliegt zur Sicherung der Wasser- und Bodenqualität sowie zur Abwendung hygienischer Risiken je nach Art der verwendeten Anlagensubstrate gesetzlichen und untergesetzlichen Restriktionen, die in Kapitel 2.1 dargestellt werden.

Die Auswirkungen dieser (zusätzlichen) Düngeeffekte auf Boden- und Wasserqualität werden in Kapitel 3.2 im Rahmen einer GIS-basierten Nährstoffbilanzierung transparent gemacht.

3.1 Rahmenbedingungen bei der Gärproduktaufbringung

Die nachfolgend aufgeführten gesetzlichen und technischen Rahmenbedingungen betreffen zunächst die durch die Gärproduktaufbringung wesentlich beeinflussten Umweltmedien.

Dies ist einerseits der Boden, der unmittelbar betroffen ist und dessen Funktionen nachhaltig zu erhalten sind, auf den der Wirtschaftsdünger aufgebracht wird und in den er eingearbeitet wird bzw. in den er aufgenommen wird und in dem er Veränderungen durch sorptive Vorgänge und Mineralisation aber natürlich auch durch pflanzliche Nährstoffaufnahme unterliegt.

Durch die Versickerung im Boden sowie durch Ausspülung gelangen die wasserlöslichen Bestandteile des Wirtschaftsdüngers nachfolgend auch in die darunterliegenden Grundwasserschichten und werden dadurch relevant für die Trinkwasserqualität.

In Abhängigkeit vom Inputmaterial in den Biogasprozess können zusätzlich zur Düngewirkung des Wirtschaftsdüngers auch hygienische Aspekte, insbesondere der auszuschließende Eintrag von Krankheitserregern, relevant werden.

Generell soll durch die aufgeführten gesetzlichen und technischen Rahmenbedingungen aus den Bereichen Wasser, Boden und Hygiene (siehe dazu Übersicht in Abbildung 2 und Tabelle 1) der Schutz der Menschen und der Umwelt vor negativen Auswirkungen durch die betrachteten Gärprodukte gewährleistet werden.

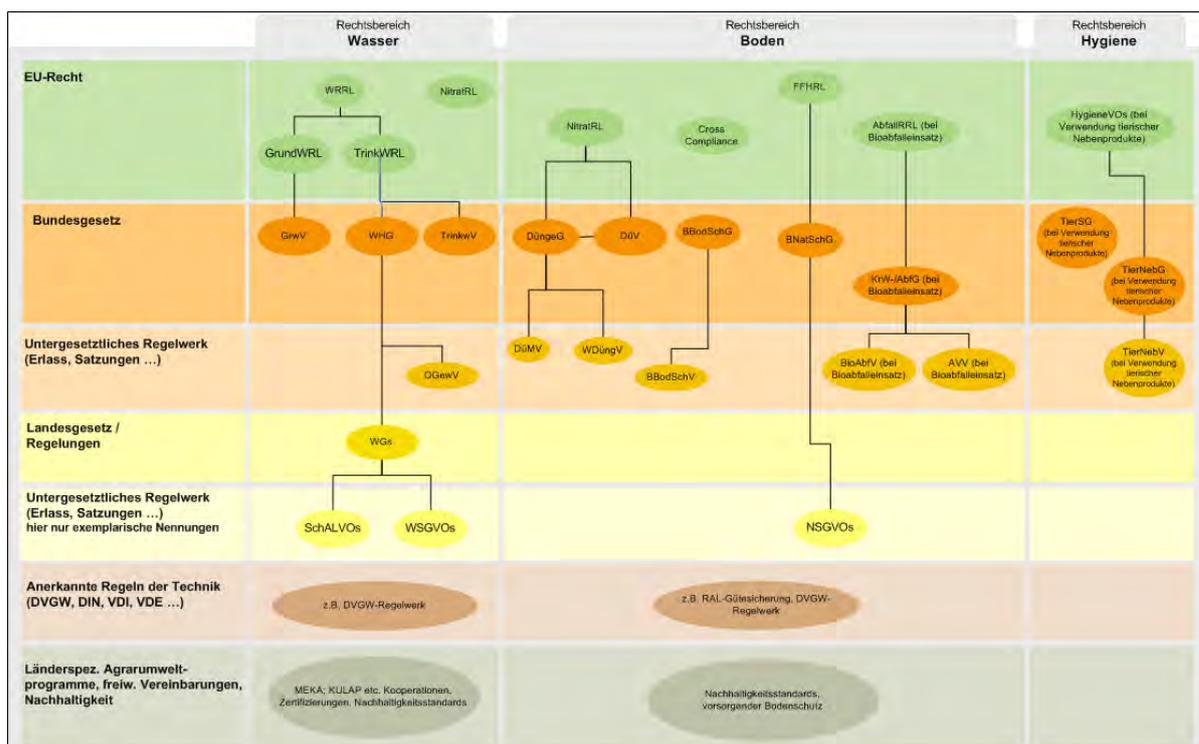


Abbildung 2: Übersicht der zum Themenbereich „Restriktionen für die Gärproduktaufbringung“ betrachteten Rechtsakte und sonstiger relevanter Dokumente

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Dokumente, ihre Abkürzungen und Relevanz (Farbgebung korrespondiert mit Abbildung 2)

Abkürzungsverzeichnis	Relevanz
AbfallRRL = EU Abfallrahmenrichtlinie	Bei Einsatz von Bioabfällen
AVV = Abfallverzeichnisverordnung	Abfallverzeichnis mit Einstufung der Gefährlichkeit
BBodSchG= Bundesbodenschutzgesetz	Das BBodSchG verfolgt das Ziel, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen (Bodenschutz). Hierzu sind „schädliche Bodenveränderungen“ abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen.
BBodSchV = Bundesbodenschutzverordnung	Ziel, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen
BGrundWV= Bundesgrundwasserverordnung	Guter chemischer Grundwasserzustand
BioAbfV = Bioabfallverordnung	Anwendungs- und Mengenbeschränkungen bei Einsatz von Bioabfällen
BNatSchG = Bundesnaturschutzgesetz	Naturschutz und Landschaftspflege

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Dokumente, ihre Abkürzungen und Relevanz (Farbgebung korrespondiert mit Abbildung 2) (Fortsetzung)

Abkürzungsverzeichnis	Relevanz
Cross Compliance	Auch als „anderweitige Verpflichtungen“ bezeichnet, Kopplung von Prämienzahlungen mit der Einhaltung von Umweltstandards
DüMV = Düngemittelverordnung	Regelt Inverkehrbringen, insbesondere die Zulassung und Kennzeichnung von Düngemitteln. Die Typenliste für Dünger ist wesentlicher Bestandteil der Düngemittelverordnung.
DüngeG = Düngegesetz	Gefahren für den Naturhaushalt vorzubeugen oder abzuwenden, die durch das Herstellen, Inverkehrbringen oder die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln sowie Kultursubstraten oder durch andere Maßnahmen des Düngens entstehen können
DüV = Düngeverordnung	Anwendung von Düngemitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis
FFHRL = Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie	Schutz der biologischen Vielfalt
GrundWRL = EU Grundwasserrichtlinie	Guter chemischer Grundwasserzustand
HygieneVOs: EGVO181/2006 = Verordnung (EG) Nr. 181/2006 der Kommission vom 1. Februar 2006 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 hinsichtlich anderer organischer Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel als Gülle sowie zur Änderung der genannten Verordnung EGVO1774/2002 = Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte	Begrenzung des Nutztierzugangs zu entsprechend behandelten Flächen
KrW-/AbfG = Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	Regelungen zum Einsatz von Bioabfällen
KULAP = Richtlinie des Ministeriums für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg zur Förderung umweltgerechter landwirtschaftlicher Produktionsverfahren und zur Erhaltung der Kulturlandschaft der Länder Brandenburg und Berlin	Förderung umweltgerechter landwirtschaftlicher Produktionsverfahren

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Dokumente, ihre Abkürzungen und Relevanz (Farbgebung korrespondiert mit Abbildung 2) (Fortsetzung)

Abkürzungsverzeichnis	Relevanz
MEKA = Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich des Landes Baden-Württemberg	Förderung der Einführung und Beibehaltung einer umweltgerechten Landwirtschaft
Nationale Nachhaltigkeitsstrategie	Vorsorgender Bodenschutz hat eine Vermeidung unerwünschter Stoffeinträge in den Boden zum Ziel.
NitratRL = EU Nitratrichtlinie	Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen
NSGVO: Naturschutzgebietsverordnungen	Biomasseanbau, Biogasanlagen, Gärrest-rückführung
RAL-Gütesicherung	Gütesicherung für Gärprodukte
SchALVO = Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnungen für Wasserschutzgebiete	Schutz des Grundwassers vor Beeinträchtigung durch Stoffeinträge aus der Landwirtschaft
TierNebG = Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz	Kategorisierung der tierischen Nebenprodukte und Nutzungsaufgaben
TierNebV= Tierische Nebenprodukte-Beseitigungs-Verordnung	Kategorisierung der tierischen Nebenprodukte und Nutzungsaufgaben
TierSG = Tierseuchengesetz	Gefahrenabwehrrechtliches Gesetz zur Verhinderung von schwerwiegender Gefährdung der Viehbestände und der menschlichen Gesundheit durch ansteckungs- o. seuchenverdächtige Tiere o. durch das Inverkehrbringen verseuchten Fleisches o. anderer tierischer Produkte.
TrinkWRL = EU Richtlinie Qualität von Trinkwasser	Mindestanforderungen für Trinkwasser hinsichtlich mikrobiologischer und chemischer Parameter
TrinkwV = Trinkwasserverordnung	Schutz der menschlichen Gesundheit, Gewährleistung der Genussstauglichkeit und Reinheit von Wasser für den menschlichen Gebrauch
WDüngV= Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern (Kurzbezeichnung: Verbringungsverordnung)	Relevant im Fall von Abgabe bzw. Verkauf
WG = (Landes-)Wassergesetze	Schutz, Nutzung, Wasserversorgung, -entsorgung, Gewässereinteilung
WHG = Wasserhaushaltsgesetz	Gute Wasserqualität aller Wasserkörper
WRRL= EU Wasserrahmenrichtlinie	Gute Wasserqualität aller Wasserkörper
WSGVO: Wasserschutzgebietsverordnungen	Biomasseanbau, Biogasanlagen, Gärrest-rückführung

3.1.1 Hintergrund zur Thematik „Gärproduktaufbringung“

Wie bereits ausgeführt, können hohe Nitratgehalte in Gewässern einerseits die Gewässerökologie andererseits die Qualität des zur Trinkwassergewinnung verwendeten Rohwassers beeinträchtigen. Bei Verwendung als Trinkwasser sind klare Grenzwerte vorgegeben, die einzuhalten sind. Eine Aufbereitung von nitratbelastetem Wasser ist zwar grundsätzlich möglich, jedoch mit hohen Kosten verbunden, die eigentlich dem Verursacher anzulasten wären, jedoch i. d. R. über den Wasserpreis auf die Allgemeinheit umgelegt werden (vgl. Abschnitt 4.4).

Problematisch ist für die Wasserwirtschaft, dass im landwirtschaftlichen Fachrecht (und der daraus abgeleiteten Düngeplanung) bei der N-Bilanzierung sowohl atmosphärische Verluste als auch die nicht direkt pflanzenverfügbaren N_{org} -Mengen in der Bilanzrechnung ausgeblendet werden. Diese Verluste sind allerdings wasserwirtschaftlich relevant, da der Stickstoff über die atmosphärische Deposition im Umkreis niedergeht (trockene Deposition bis 500 m als NH_3 ; feuchte und nasse Deposition als NH_4^+ bis zu 25 km) (s. Abbildung 3) [StUA 2005].

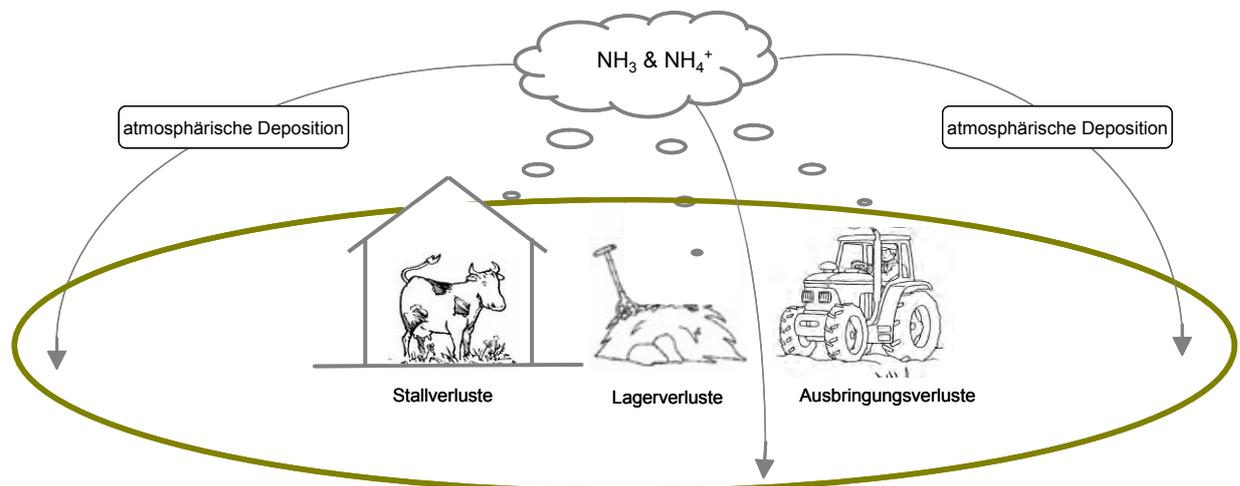


Abbildung 3: Atmosphärische Deposition aufgrund von Verlusten an Stickstoffverbindungen im Betrieb [eigene Darstellung]

Außerdem geht die Mineralisierung organisch gebundenen Stickstoffs nicht immer einher mit der N-Aufnahme durch die Pflanzen. Die tatsächliche verfügbare N-Menge hängt aber von den konkreten Witterungsbedingungen nach Ausbringung des Düngers ab. In Zeiten, in denen kein Pflanzenbestand vorhanden ist, oder dieser nur wenig Stickstoff aufnimmt, kann der ungenutzte Stickstoff leicht mit dem Sickerwasser ins Grundwasser ausgewaschen werden, oder in die Oberflächengewässer gelangen³.

³ **Organisch** gebundene Stickstoffe (z. B. aus abgestorbener Pflanzenmasse) sind nicht direkt pflanzenverfügbar, sie müssen erst von den Bodenorganismen mineralisiert werden. **Anorganische** Stickstoffverbindungen (Ammonium-N, Nitrat-N) sind direkt pflanzenverfügbar. Problematisch ist, dass Nitrat leicht ausgewaschen werden kann

3.1.2 Rechtsbereich Wasser

3.1.2.1 EU-Recht mit Auswirkungen für den Wasserbereich

Europäische Nitratrichtlinie 91/676/EWG

Nähere Erläuterungen zur Bedeutung dieser Richtlinie hinsichtlich Gärproduktausbringung finden sich im Kapitel 3.1.3 [91/676/EWG].

Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG; WRRL)

Die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates dient der Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik [2000/60/EG]. Innerhalb der Europäischen Union sind die natürlichen Gegebenheiten sehr unterschiedlich. Deshalb beschränkt sich die Richtlinie darauf, Qualitätsziele aufzustellen und Methoden anzugeben, wie diese zu erreichen und der gute Zustand zu erhalten ist.

Unter anderem beinhaltet die WRRL in Artikel 4 und die Grundwasserrichtlinie im Anhang 4, Teil B ein *Verschlechterungsverbot* (Trendumkehr bei $\geq 37,5$ mg Nitrat/l). Das verpflichtet die Mitgliedstaaten, die notwendigen Maßnahmen durchzuführen, um eine Verschlechterung des Zustandes aller Wasserkörper zu verhindern. Die Maßnahmenprogramme und die Bewirtschaftungspläne werden in einem Sechs-Jahres-Turnus fortgeschrieben. Dabei werden sowohl der Stand der Umsetzung und neue Entwicklungen als auch der zu erwartende Erfolg bzw. festgestellte Misserfolge dokumentiert. Spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten dieser Richtlinie (also 2015) sollen alle Wasserkörper einen guten Zustand erreicht haben. Im Fall, dass die Umweltziele bis 2015 nicht erreicht werden, können nach Begründung Ausnahmeregelungen in Anspruch genommen werden⁴.

Die Erreichung des Zieles eines guten Gewässerzustandes kann um maximal 12 Jahre verlängert werden, unter bestimmten Umständen, z. B. entgegenstehende überwiegende öffentliche Interessen, Verhältnismäßigkeitserwägungen, sowie für künstliche oder durch den Menschen erheblich veränderte Gewässer können weniger strenge Umweltziele angestrebt werden. Hier besteht aber ein hoher Begründungsbedarf und die Ausnahmen und Verlängerungen sind regelmäßig zu überprüfen und ggf. anzupassen⁵.

Europäische Richtlinie 98/83/EG „Qualität von Trinkwasser“

Ziel dieser Richtlinie ist es, die menschliche Gesundheit zu schützen und Gesundheits- und Reinheitsparameter für Trinkwasser in der Gemeinschaft festzulegen [98/83/EG]. Umgesetzt wird sie in Deutschland durch die Trinkwasserverordnung [TrinkwV 2001] (s. Kapitel 3.1.2.2).

⁴ BMU&UBA, Die Wasserrahmenrichtlinie, Mai 2010, S. 10

⁵ <http://www.bmu.de/binnengewasser/gewaesserschutzpolitik/europa/doc/3063.php>

Europäische Grundwasserrichtlinie (Richtlinie 2006/118/EG)

Am 16.01.2007 ist die Richtlinie 2006/118/EG zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung in Kraft getreten [2006/118/EG].

Ein wichtiges Element der Richtlinie ist die Klassifikation des Grundwasserzustandes in gut oder schlecht, anhand von Grenzwerten bzw. Qualitätsnormen. Für Nitrat beträgt die *Qualitätsnorm 50 mg/l*. Das Grundwasser befindet sich in einem guten Zustand, wenn an allen Messstellen die Grenzwerte eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, ist im Einzelnen zu prüfen, ob die Nutzung oder die ökologische Funktion des Grundwassers gefährdet sind. Wenn dem so ist, wird das Grundwasser dem schlechten Zustand zugeteilt und es müssen Maßnahmen ergriffen werden, um den guten Zustand bis 2015 wieder herzustellen [BMU 2008].

Anhang IV der Richtlinie 2006/118/EG verpflichtet die Mitgliedsstaaten, bei signifikanten und anhaltend steigenden Trends bei Erreichen der Konzentration des Schadstoffes von 75 % der Parameterwerte gemäß Anhang I (Nitrat-Qualitätsnorm: 50 mg/l) eine Trendumkehr zu bewirken. Maßnahmen zur Trendumkehr sind demnach bei einer Nitratkonzentration von $\geq 37,5$ mg/l zu veranlassen [KLOCKE 2010].

3.1.2.2 Bundes- und Landesrecht mit Auswirkungen für den Wasserbereich

Durch die **Grundwasserverordnung** (GrwV) wurde die Richtlinie im Jahre 2010 in nationales Recht umgesetzt [BMU 2010]. Dort heißt es in § 10 Abs. 2: „Liegt ein Trend nach Anlage 6 Nummer 1 vor, der zu einer signifikanten Gefahr für die Qualität der Gewässer oder Landökosysteme, für die menschliche Gesundheit oder die potenziellen oder tatsächlichen legitimen Nutzungen der Gewässer führen kann, veranlasst die zuständige Behörde die erforderlichen Maßnahmen zur Trendumkehr. Maßnahmen zur Trendumkehr sind erforderlich, wenn die Schadstoffkonzentration drei Viertel des Schwellenwertes, der gemäß § 5 Absatz 1 festgelegt worden ist, erreicht.“

Das **Wasserhaushaltsgesetz** (WHG) gilt für oberirdische Binnengewässer, das Küstenmeer und das Grundwasser. Hauptziele des Gesetzes sind die ordnungsgemäße Nutzung und der nachhaltige Schutz (Wasser als Schutzobjekt und Hochwasserschutz) des Wassers [WHG 2008]. Im Jahr 2002 wurde das Gesetz wesentlich umgestaltet, damit es den Anforderungen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG entspricht [KLOCKE 2010].

Ziel der **Trinkwasserverordnung** (TrinkwV) ist der Schutz der menschlichen Gesundheit vor eventuellen Gefährdungen durch Verunreinigungen im Trinkwasser. Nach § 6 Absatz 2 der Trinkwasserverordnung dürfen die chemischen Grenzwerte aus Anlage 2 nicht überschritten werden. Für Nitrat sind das 50 mg/L, die im Trinkwasser einzuhalten sind (Bei Vorhandensein von Nitrit ist der einzuhaltende Wert für Nitrat in Abhängigkeit der Nitritkonzentration niedriger). Die Einhaltung der Grenzwerte ist durch regelmäßige Untersuchungen zu belegen.

Wird dem Gesundheitsamt bekannt, dass in einem Wasserversorgungsgebiet Grenzwerte nicht eingehalten sind, hat es unverzüglich zu entscheiden, ob dadurch die Gesundheit der betroffenen Verbraucher gefährdet ist und ob die betroffene Wasserversorgungsanlage (oder Teile davon) bis auf Weiteres weiterbetrieben werden können. Ggf. ordnet es Maßnahmen an, die zur Abwendung der Gefahr für die menschliche Gesundheit erforderlich sind. [TrinkwV 2001, §9]. Das Gesundheitsamt legt ggf. fest, in welcher Höhe und für welchen Zeitraum von dem betroffenen Grenzwert abgewichen werden kann [TrinkwV 2001, §10].

Die **Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer** „Oberflächengewässerverordnung“ (OGewV) [OGewV 2011] dient der Umsetzung der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 (WRRL). Beispielsweise enthält Anlage 5 Umweltqualitätsnormen für flussgebietspezifische Schadstoffe in oberirdischen Gewässern (einschließlich Übergangs- sowie Küstengewässern) in der Wasserphase sowie teilweise auch für Schwebstoffe oder Sedimente zur Beurteilung des ökologischen Zustands. Anlage 7 enthält Umweltqualitätsnormen für prioritäre Stoffe, getrennt nach oberirdischen Gewässern sowie Übergangs- und Küstengewässern. Die Einhaltung der Umweltqualitätsnormen ist anhand des Jahresdurchschnittswertes zu überprüfen. Zudem sind auch Werte für die zulässige Höchstkonzentration angegeben, die ebenfalls zu überprüfen sind.

Die (*Landes-*)*Wassergesetze* fordern gute Wasserqualität aller Wasserkörper auf Ebene der Bundesländer. Hinsichtlich der Gärproduktausbringung sei hier exemplarisch § 13 Absatz 1 des Wassergesetzes für Baden-Württemberg aus dem Jahr 2005 [WG BW 2005] genannt. Dort wird erwähnt, dass die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes sowie dieses Landesgesetzes auch für Aufbringen von Abwasser und anderen Stoffen, welche die Eigenschaften von Wasser nachteilig verändern können, gelten mit Ausnahme der landwirtschaftlichen Düngung im üblichen Umfang. Da die landwirtschaftliche Düngung im üblichen Umfang bereits in stark mit Nitrat belasteten Gebieten zu weiteren Grundwasserbelastungen führen kann, ist diese Formulierung aus Sicht der Autoren nicht ausreichend.

Unterhalb dieser gesetzlichen Ebene finden sich ebenfalls auf Landesebene verschiedene Verordnungen. Exemplarisch sei hier die *SchALVO* (Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung, Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über Schutzbestimmungen und die Gewährung von Ausgleichsleistungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten) des Landes Baden-Württemberg aus dem Jahre 2001 erwähnt. Der Zweck der Verordnung ist gemäß § 1 der Schutz von Rohwässern der öffentlichen Wasserversorgung in Wasserschutzgebieten vor Beeinträchtigungen durch Stoffeinträge aus der Landbewirtschaftung. Sie bezweckt u.a. die Minimierung von Stickstoffeinträgen und die schnellstmögliche Sanierung nitratbelasteter Grundwasservorkommen durch grundwasserentlastende Bewirtschaftungsmaßnahmen. Um den Schutzzweck zu erreichen, wird die ordnungsgemäße Landbewirtschaftung in Wasserschutzgebieten mit erhöhter Nitratkonzentration des Rohwassers (sogenannten „Problem- und Sanierungsgebiete“) definiert [SchALVO BW 2001].

Weitere bedeutende Regelungen auf untergesetzlicher Ebene finden sich in den *Wasserschutzgebietsverordnungen*. Exemplarisch sei hier verwiesen auf die Verordnung zur Festsetzung des Wasserschutzgebietes Quoltitz auf der Insel Rügen

(Wasserschutzgebietsverordnung Quoltitz - WSGVO Quoltitz) vom 26. Mai 2004 [WSGVO 2004]. Hier wird unter Punkt 1 die Anwendung von Gülle und anderen organischen Stickstoffdüngern in der Weise reglementiert, dass diese in Zone 1 und 2 grundsätzlich verboten ist. In Zone 3 ist die Düngung dann verboten, wenn die Stickstoffdüngung nicht in zeit- und bedarfsgerechten Gaben erfolgt, oder auf abgeernteten Flächen ohne unmittelbar folgenden Zwischen- oder Hauptfruchtanbau, sowie auf Dauergrünland vom 15. Oktober bis 1. Februar, auf Ackerland vom 1. Oktober bis 28./29. Februar und generell auf allen übrigen Flächen einschließlich Brachland.

3.1.2.3 Technische Regelungen und freiwilliges Regelwerk mit Auswirkungen für den Wasserbereich

Im Wesentlichen bilden die DVGW-Regeln und die DIN-Normen die Grundlage aller technisch-wissenschaftlichen Aktivitäten im Bereich des Trink- und Grundwassers. Sie geben technische Sicherheit und ermöglichen kostenoptimiertes Handeln. Die Regelwerke werden regelmäßig aktualisiert und spiegeln somit den Stand der Technik wieder. Insbesondere sind die DVGW-Arbeitsblätter W 104 und W 101 für die Düngung mit Gärprodukten von Bedeutung.

Das **DVGW-Arbeitsblatt W 104** wurde von einem Projektkreis von Fachleuten aus Wasserwirtschaft und Landwirtschaft des DVGW/ATV-DVWK-Technischen Komitees "Grundwasser und Ressourcenmanagement" erarbeitet. Es dient als Grundlage für die flächendeckende und standortspezifische Umsetzung einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung mit dem Ziel, die Schutzgüter Boden und Gewässer nachhaltig zu sichern und den guten Zustand der Gewässer gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen. Das Arbeitsblatt gibt einen Überblick zu den Grundsätzen und möglichen Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung, die insbesondere zur Einhaltung maximal tolerierbarer Emissionswerte erforderlich sind. Im konkreten Einzelfall ist dabei unter besonderer Berücksichtigung der regionalen Standort- und Nutzungsverhältnisse zu entscheiden, welche der aufgeführten Maßnahmen zielgerichtet einzusetzen sind.

Das **DVGW-Arbeitsblatt W 101**: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; I. Teil: „Schutzgebiete für Grundwasser“ gilt für die Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten für die öffentliche Wasserversorgung aus Grundwasser. Es werden Anforderungen hinsichtlich der Bemessung, der Schutzbestimmungen und der Überwachung in Trinkwasserschutzgebieten beschrieben. Die Inhalte der Kapitel 6, 7 und 8 des Arbeitsblattes können sinngemäß auch in Einzugsgebieten von Gewinnungsanlagen angewendet werden, für die noch kein Schutzgebiet festgesetzt wurde. Analoges gilt auch für das **DVGW-Arbeitsblatt W 102**: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; II. Teil: „Schutzgebiete für Talsperren“.

Aus den Inhalten der Arbeitsblätter und internen und externen Diskussionen wurde 2008 ein Positionspapier erstellt. Wesentliche Eckpunkte der Position des DVGW zum Thema: „Energiepflanzenproduktion und Einsatz von Gärrückständen aus Biogasanlagen aus Sicht des Gewässerschutzes“ sind in dem entsprechenden Positionspapier vom November 2008 zusammengefasst [DVGW 2008]. Dabei wird grundsätzlich darauf hingewiesen, dass mit der Erzeugung sog. „Energiepflanzen“

Gefährdungen für Grund- und Oberflächenwasser, insbesondere in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen entstehen können, da die Ausweitung des Energiepflanzenanbaus ohne eine Intensivierung der Landnutzung nicht zu erreichen ist. Außerdem führt die erforderliche Verwertung der Gärrückstände zu einer Verschärfung der Problematik des gewässerschonenden Einsatzes von Wirtschaftsdüngern, insbesondere in viehhaltungstarken Regionen.

Eine Auftrennung der Anforderungen in „herkömmliche Landwirtschaft“ und „Energiepflanzenanbau mit Gärproduktausbringung“ ist nur schwer möglich und wäre auch nicht praxisbezogen, da viele Betriebe sowohl Nahrungs- und Futtermittel als auch Energiepflanzen produzieren. Da das Thema des Positionspapiers die Biogaserzeugung ist, erfolgte die Zusammenstellung der Handlungsempfehlungen und Anforderungen insbesondere im Hinblick auf die Biogaserzeugung mit Energiepflanzenanbau und Gärproduktausbringung.

Entsprechend dem Positionspapier müssen im Sinne eines nachhaltigen Schutzes der Wasserressourcen beim Anbau von Energiepflanzen verschiedene Grundsätze beachtet werden. Die in dem Positionspapier aufgeführt sind (z.B. keine zusätzliche Belastung der Wasserressourcen durch überhöhte Nährstoff- und Pestizidausträge etc.).

In dem Positionspapier wird darüber hinaus gefordert, den Einsatz von Gärrückständen aus der Biogasproduktion und anderer Rückstände aus sonstiger Bioenergieproduktion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen nach definierten Kriterien zu begrenzen (z.B. keine Ausbringung von Gärrückständen in der Schutzzone II von Trinkwasserschutzgebieten, verbindliche Gütesicherung, regionale Kreisläufe, etc.).

Mit dem aktuellen MEKA III (*Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich*)⁶ für Baden-Württemberg wurde das von der EU im Rahmen des Maßnahmen- und Entwicklungsplans Ländlicher Raum 2007 – 2013 (MEPL II) kofinanzierte Agrarumweltprogramm zum dritten Mal aufgelegt und an die aktuellen Erfordernisse angepasst. Mit dem MEKA werden freiwillige Umweltleistungen der Landwirtschaft ausgeglichen. Ausgeglichen werden die durch die Bewirtschaftungsauflagen entstandenen höheren Kosten oder geringeren Erlöse. Die Landwirte werden auf diese Weise unterstützt, einen Beitrag zum Schutz des Grundwassers, der Oberflächengewässer und des Bodens zu leisten. Fördervoraussetzungen sind die Einhaltung von Cross Compliance im gesamten Unternehmen und die Vermeidung jeglicher Ausbringung kommunaler Klärschlämme. Die beantragten Maßnahmen müssen darüber hinaus für die Dauer von mindestens 5 Jahren durchgeführt werden.

Das *Kulturlandschaftsprogramm* (KULAP) dient zum einen dem Ziel, die flächendeckende landwirtschaftliche Nutzung zur Sicherung, Pflege und Gestaltung der Kulturlandschaft auch in benachteiligten Gebieten aufrecht zu erhalten. Zum anderen können damit die typischen Lebensräume der Agrarlandschaft erhalten, verbessert und wo nötig neu geschaffen werden. Es werden jene Landwirte gefördert, die auf Dünge- und Pflanzenschutzmittel verzichten, eine umweltschonende

⁶ <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1318342/28.02.2011%20-%20Verwaltungsvorschrift%20MEKA%20III%20-%20MLR%2025-8872.53.pdf>

Ackernutzung in gewässersensiblen Bereichen betreiben, ihre Flächen extensiv mit Schafen oder Ziegen beweiden oder Ackerflächen in Grünland umwandeln. Exemplarisch sei hier auch auf die Unterstützung für die „Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger durch Injektionsverfahren“ verwiesen, welche Stickstoffverluste bei der Ausbringung minimiert. Ferner werden Zuschüsse gewährt für die Mahd von Steilhangbereichen, die Behirtung oder extensive Bewirtschaftung von Grünland sowie für die Erhaltung von Streuobstflächen. Entsprechende Programme existieren z.B. in den Ländern Bayern⁷ und Thüringen⁸.

Strukturen der Kooperation zwischen Akteuren der Landwirtschaft und des Gewässerschutzes finden sich in unterschiedlicher Ausprägung und Formalisierung auf den institutionellen Ebenen. Im Folgenden werden einige Beispiele der Zusammenarbeit dargestellt [WWF 2008]:

Auf europäischer Ebene bietet die „Strategic Steering Group“ (SSG) ein Forum zur Abstimmung der Umsetzungsprozesse der Gemeinsamen Agrarpolitik und der Wasserrahmenrichtlinie. Im Rahmen dieser Arbeitsgruppe werden u.a. mögliche Einflüsse der landwirtschaftlichen Nutzung auf die Zielerreichung der WRRL in den Mitgliedsstaaten identifiziert und Auswirkungen des Umsetzungsprozesses der WRRL auf die Landwirtschaft abgeschätzt. Zudem sollen Empfehlungen formuliert werden, wie mit dem Risiko einer Zielverfehlung aufgrund diffuser Belastungen aus der Landwirtschaft umgegangen werden kann [HERBKE 2006].

Auf Bundesebene ist eine Zusammenarbeit zwischen den Behörden der Landwirtschaft und des Gewässerschutzes auf Expertenebene vorhanden, jedoch nicht institutionalisiert. Eine Beteiligung der Landwirtschaft am Gewässerschutz erfolgt über die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), an deren Hauptversammlungen Landwirtschaftsvertreter teilnehmen. Der ständige Ausschuss Grundwasser und Wasserversorgung der LAWA widmet sich zudem dem Problem der diffusen Belastung und erarbeitet Strategien, wie diesen begegnet werden kann.

Die institutionelle Zusammenarbeit auf **Länderebene** ist unterschiedlich ausgestaltet, wie nachfolgend anhand von Beispielen der Zusammenarbeit in den Bundesländern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern exemplarisch dargestellt werden soll:

Niedersachsen: Hervorzuheben ist die Zusammenarbeit der Umwelt- und Landwirtschaftsbehörden mit dem Johann Heinrich von Thünen-Institut (zuvor mit der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)) sowie dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), welches zuständig für den Bodenschutz in Niedersachsen ist. Ein intensiver länderübergreifender Austausch erfolgt derzeit zusätzlich im Rahmen des Forschungsprojektes WAgriCo (Water Resources Management in Cooperation with Agriculture), an dem der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) sowie vier weitere deutsche und fünf englische Partner aus Wasserwirtschaft und Landwirtschaft beteiligt sind. Ziel dieses Projektes ist es, praxistaugliche Wege zur Reduktion dif-

⁷ [http://www.verwaltung.bayern.de/egov-portal/xview/Anlage/3885354/DasKulturlandschaftsprogramm\(KULAP\).pdf](http://www.verwaltung.bayern.de/egov-portal/xview/Anlage/3885354/DasKulturlandschaftsprogramm(KULAP).pdf)

⁸ http://www.thueringen.de/imperia/md/content/thueringenagrart/mlnu_frank/kulap_2007_-_fr.pdf

fuser Belastungen aus der Landwirtschaft zu entwickeln, die sowohl wirtschaftlich als auch effektiv sind.

Nordrhein-Westfalen: Als zentrales Koordinationsgremium wurde in Nordrhein-Westfalen eine Steuerungsgruppe ins Leben gerufen, zu der neben staatlichen und kommunalen Vertretern auch Vertreter der Landwirtschaft, der Wasserversorgungsunternehmen und der Naturschutzverbände gehören. Einzelne Themen werden in Arbeitsgruppen bzw. Unterarbeitsgruppen vertieft.

Bayern: Im Rahmen der Bestandsaufnahme nach Artikel 5 der WRRL wurde eine erste Analyse der Gewässerbelastung aus diffusen Quellen für die landwirtschaftlich genutzten Flächen durchgeführt, unter enger Einbeziehung des Instituts für Agrarökonomie an der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), dem Lehrstuhl für Grünlandlehre an der TU München-Weihenstephan und dem Bereich Gewässerschutz der LfU. Die Ergebnisse wurden in einer gemeinsamen Veröffentlichung zusammengefasst und der Öffentlichkeit präsentiert [WWF 2008].

Ein Beispiel für grenzüberschreitende regionale Zusammenarbeit stellt die Arbeitsgruppe Landwirtschaft/ Umweltschutz der Internationalen Bodenseekonferenz dar, deren Teilnehmerkreis sich im Wesentlichen aus Landwirtschafts- und Umweltämtern beiderseits der deutsch-schweizerischen Grenze zusammensetzt. Die Arbeitsgruppe hat einen Maßnahmenplan Landwirtschaft/Gewässerschutz erarbeitet und den Fortschritt der Implementierung beobachtet und bewertet [IBK 2005]. Bei der Umsetzung des Maßnahmenplans spielte insbesondere die Information der Öffentlichkeit eine wesentliche Rolle.

Eine weitere Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Gewässerschutz erfolgt im Rahmen der **Internationalen Flussgebietskommissionen**. Die konkrete Ausgestaltung der Kooperationsstrukturen unterscheidet sich dabei jedoch deutlich, wobei landwirtschaftliche Akteure bislang oft unterrepräsentiert sind.

Vom Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) gibt es die Qualitätssicherung landbauliche Abfallverwertung (QLA) mit Qualitäts- und Prüfbestimmungen für „Gärprodukte“ und „Gärprodukte-NawaRo“, die als Endprodukte landbaulich verwertet werden sollen.⁹

Relevante Zertifizierungen erfolgen insbesondere über RAL, das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. Bislang waren Gärprodukte in die Gütesicherung für „Sekundärrohstoffdünger und Bodenverbesserungsmittel“ (RAL-GZ 256) eingebunden. Nach der Neuordnung der Gütesicherung wurden sie dort herausgenommen und als eigenständige Gütesicherung gefasst. Die Gütesicherung „Gärprodukt“ wird nun als RAL-GZ 245 geführt und hat auch ein neues Gütezeichen, das den aktuellen Vorgaben von RAL für neue Gütezeichen entspricht. Dort werden Qualitätskriterien betreffend Hygiene, Fremdstoffgehalt, Vergärungsgrad, Trockensubstanz und organischer Substanz, Geruch, Nutzwertindex, Schwermetallgehalt und düngemittelrechtliche Kennzeichen (z.B. Nährstoffgehalte) untersucht und dokumentiert¹⁰. Gärprodukte im Sinne der RAL-GZ 245 sind hygienisierte Endprodukte aus Biogasanlagen in denen Bioabfälle eingesetzt werden.

⁹ <http://www.qla.de/content/produktgruppen>

¹⁰ <http://www.kompost.de/index.php?id=706>

Darüber hinaus sei auch die RAL-Gütesicherung „NawaRo-Gärprodukt“ (RAL-GZ 246) erwähnt. Unter der Bezeichnung NawaRo-Gärprodukte versteht dieses Dokument hygienisch unbedenkliche Endprodukte aus Biogasanlagen in denen ausschließlich Energiepflanzen und/oder andere Stoffe nach § 8 Abs. 2 des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) eingesetzt werden. Die Gütesicherung Gärprodukt (RAL-GZ 245 und RAL-GZ-246) beinhaltet die regelmäßige Güteüberwachung von flüssigen oder festen Endprodukten aus Biogasanlagen durch die Gütegemeinschaft bzw. die zugelassenen Prüflabore.

In den Jahren 2012/13 wurde eine Liste von Substraten für Biogasanlagen, deren Gärprodukte anschließend zur Ausbringung in der Schutzzone III von Wasserschutzgebieten geeignet sind, von den zuständigen vom DVGW-Gremien und TZW in Zusammenarbeit mit der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) und der Gütegemeinschaft Gärprodukte (GGG) als Basis für ein Gütezeichen mit dem Zusatz „Für die Ausbringung in der Schutzzone III geeignet“ erarbeitet und am 19. Juni 2013 herausgegeben [DVGW 2013]. Erfüllt ein Gärprodukt diese zusätzlichen Anforderungen, wird dies mit einem Eintrag im Prüfzeugnis der RAL-Gütesicherung kenntlich gemacht. In den Schutzzonen III A und III B können Gärprodukte aufgebracht werden, soweit diese einer anerkannten Gütesicherung unterliegen und die zusätzlichen Kriterien gemäß der DVGW/BGK-Information einhalten. Diese sind Bestandteil der Unterlagen zum RAL-GZ 245.

Nationale Nachhaltigkeitsstrategie

Die Bundesregierung will mit einem vorsorgenden Gewässerschutz einen wirksamen Gesundheits- und Verbraucherschutz gewährleisten. Entsprechend der nationalen Strategie setzt sie sich deshalb dafür ein, dass Nitrateinträge in die Gewässer und Ammoniakemissionen soweit wie möglich vermieden werden.¹¹

3.1.3 Rechtsbereich Boden

3.1.3.1 EU-Recht mit Auswirkungen für den Bodenbereich

Europäische Nitratrichtlinie 91/676/EWG

Die Richtlinie des Rates „zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen“ hat zum Ziel:

- die durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen verursachte oder ausgelöste Gewässerverunreinigung zu verringern und
- weiterer Gewässerverunreinigung dieser Art vorzubeugen.

Die EU-Mitgliedstaaten sind verpflichtet, durch geeignete Maßnahmen eine flächendeckende Reduzierung des Nitrateintrags durchzusetzen [91/676/EWG].

¹¹ http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2006-2007/perspektiven-fuer-deutschland-langfas-sung.pdf;jsessionid=E03D5CF7A60C516454F7E74F1BF4BA05.s2t1?__blob=publicationFile

Die Flora-Fauna-Habitatrichtlinie

Die Richtlinie zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen [FFHRL 1992] bildet zusammen mit der Vogelschutzrichtlinie die zentrale Rechtsgrundlage für den Naturschutz in der Europäischen Union. Ihr Ziel: Alle für Europa typischen wildlebenden Arten und natürlichen Lebensräume sollen in einen günstigen Erhaltungszustand gebracht werden. Damit dient die FFH-Richtlinie dem Erhalt der biologischen Vielfalt in der EU. Im Kern verfolgt die FFH-Richtlinie dazu zwei Strategien: Für bestimmte Arten und Lebensräume werden FFH-Schutzgebiete ausgewiesen. Diese bilden zusammen mit den Gebieten der Vogelschutzrichtlinie das Netzwerk Natura 2000. Andere Arten sind durch direkte Bestimmungen flächendeckend geschützt - unabhängig davon, ob sie sich in einem Schutzgebiet befinden.

Cross Compliance

Die Vorschriften der Cross Compliance, auch „anderweitige Verpflichtungen“ genannt, beinhalten eine Verknüpfung von Prämienzahlungen mit der Einhaltung von Umweltstandards (im weiteren Sinne). Cross Compliance wird in der agrarpolitischen Praxis zunehmend eingesetzt, wobei die Einhaltung der Standards eine Voraussetzung für den Erhalt von Prämienzahlungen darstellt [73/2009/EG], [1122/2009/EG], [DirektZahlVerpflG 2004], [DirektZahlVerpflV 2004].

Die Cross Compliance Regelungen umfassen Regelungen zur Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand, Regelungen zur Erhaltung von Dauergrünland sowie 18 einschlägige Regelungen zu den Grundanforderungen an die Betriebsführung. Diese Fachrechtsregelungen bestehen auch unabhängig von Cross Compliance.

3.1.3.2 Bundes- und Landesrecht mit Auswirkungen für den Bodenbereich

Düngegesetz (DüngeG)

Das Düngegesetz vom 9. Januar 2009 stellt die Nachfolge des seit Februar 2009 außer Kraft gesetzten Düngemittelgesetzes (DüMG) dar. Das Düngegesetz regelt neben dem Inverkehrbringen von Düngemitteln auch das Düngen selbst. Aus diesem Grund wurde der Name des Gesetzes geändert. Zweck des Gesetzes ist es,

- die Ernährung von Nutzpflanzen sicherzustellen,
- die Fruchtbarkeit des Bodens zu erhalten und zu verbessern,
- Gefahren für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie für den Naturhaushalt vorzubeugen oder abzuwenden, die durch das Herstellen, Inverkehrbringen oder die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln sowie Kultursubstraten oder durch andere Maßnahmen des Düngens entstehen können und
- Rechtsakte der Europäischen Gemeinschaft umzusetzen [DüngeG 2009].

Düngeverordnung (DüV)

Die Umsetzung der europäischen Nitratrichtlinie in nationales Recht ist durch die Düngeverordnung (DüV) erfolgt. Nach § 4 Abs. 3 der DüV, darf Wirtschaftsdünger tierischen Ursprungs (auch in Mischungen) nur so ausgebracht werden, dass die Menge an Gesamtstickstoff *170 kg pro Hektar* und Jahr nicht überschritten wird. Auf Grünland und Feldgras liegt der Wert bei *230 kg Gesamtstickstoff pro Hektar* und Jahr.

Nach § 5 Abs. 1 DüV muss jeder Betriebsinhaber jährlich einen betrieblichen Nährstoffvergleich erstellen. Dieser ist entweder als Feldbilanz oder als Schlagbilanz durchzuführen. Nach § 5 Abs. 4 sind davon ausgenommen [KLOCKE 2010]:

- Betriebe mit weniger als 10 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche
- Betriebe, bei denen nicht mehr als 500 kg Stickstoffanteil aus tierischer Herkunft anfallen,
- Betriebe, die auf höchstens 1 ha Gemüse, Erdbeeren oder Hopfen anbauen und
- Betriebe, die auf keinen Schlag mehr als 50 kg N oder 30 kg P₂O₅ ausbringen [DüV 2009].

Die jährlichen Nährstoffsalden müssen zu einem mehrjährigen Nährstoffvergleich (Feldbilanz) zusammengeführt werden. Für den Berechnungszeitraum 2009 bis 2011 darf der maximale N-Bilanzüberschuss (inkl. Mineraldünger) 60 kg/ha pro Jahr nicht übersteigen. Für Phosphat liegt der maximal zulässige Bilanzüberschuss vergleichsweise bei 20 kg/ha und Jahr [DüV 2009].

Von Seiten des DVGW-Projektkreises Landbewirtschaftung und Gewässerschutz werden im Zusammenhang mit der Gärproduktlagerung und -ausbringung verschiedene Forderungen aufgestellt, damit es nicht zu einer Erhöhung von ungenutzten Nährstoffen, von Schwermetallen und anderen Schadstoffen auf der Fläche oder eine Anreicherung im Boden und zu Einträgen in die Gewässer kommt [DVGW 2012]. Beispielweise wird gefordert, die organische Düngung auf eine Stickstoff-Ausbringungsmenge von max. 170 kg/ha jährlich unter Einbeziehung des Gärproduktes zu begrenzen. Dabei ist die gesamte Stickstoffmenge des Gärproduktes und nicht nur dessen Stickstoffanteil aus tierischer Herkunft zu berücksichtigen. In Wasserschutz- bzw. Wassereinzugsgebieten und aus Sicht des Gewässerschutzes empfindlichen Gebieten ist die organische Düngung (z.B. Wirtschaftsdünger, Gärprodukte, etc.) insgesamt auf eine Stickstoff-Ausbringungsmenge von 120 kg N/ha jährlich zu begrenzen. Entsprechende Forderungen gelten auch für die Anwendung anderer organischer Düngemittel und wurden vom DVGW und VKU beispielsweise im Zuge einer Stellungnahme zur Düngeverordnung aufgestellt [DVGW 2010b].

Düngemittelverordnung (DüMV)

Die Düngemittelverordnung regelt gemäß § 7 des Düngegesetzes die Zulassung und Kennzeichnung von Düngemitteln [DüMV 2003]. Dies beinhaltet die Angabe der Nährstoffgehalte sowie der Zusammensetzung hinsichtlich des darin enthaltenen Anteils tierischer Wirtschaftsdünger. Abgabe nicht in unmittelbarer Nähe des landwirtschaftlichen Betriebes erfordert volle Kennzeichnung nach DüMV (ggf.

auch nach BioAbfV). Ausbringung auf eigene Flächen muss aber auch den Vorgaben der DüMV entsprechen.

Sofern in der Biogasanlage ausschließlich Nebenerzeugnisse der landwirtschaftlichen Produktion vergoren werden, kann das Gärprodukt als Wirtschaftsdünger abgegeben und verwendet werden. Dies gilt z.B. für die Anlagen mit NawaRo-Bonus. Die Anforderungen an Wirtschaftsdünger sind nicht so hoch wie bei den mineralischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, um der Landwirtschaft die Verwertungsmöglichkeit ihrer eigenen Nebenprodukte zu vereinfachen. Demnach sind Erleichterungen bei der Kennzeichnung von Wirtschaftsdüngern im Falle der eigenen Verwendung auf betriebseigenen Flächen bzw. bei Abgabe an landwirtschaftliche Betriebe in der „Nachbarschaft“, bis zu einer Jahresmenge von 200 Tonnen Frischmasse, vorgesehen (§ 6 Abs. 9 DüMV). Es gilt hier jedoch auch, dass Wirtschaftsdünger unbedenklich für die Bodenfruchtbarkeit, Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze und für den Naturhaushalt sein müssen.¹²

Verbringungsverordnung (WDüngV)

Die Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern (kurz: Verbringungsverordnung) regelt entsprechend den Anforderungen des Düngegesetzes, dass Abgeber, Beförderer sowie Empfänger Aufzeichnungen zu erstellen haben, in denen u.a. Angaben zu Mengen, Art, Stickstoff- (hier Gesamt-N) und Phosphatgehalt (P_2O_5) von in Verkehr gebrachten Wirtschaftsdüngern gemacht werden müssen [WDüngeV 2010].

Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)

Gemäß § 1 des BBodSchG sind die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern oder wieder herzustellen. Hierzu sind „schädliche Bodenveränderungen“ abzuwehren, belasteten Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen [BBodSchG 1998].

Gemäß § 17 Absatz 3 BBodSchG gelten die Bestimmungen dieses Gesetzes für landwirtschaftliche Flächen nur im Falle einer Gefahrenabwehr, sofern hierfür keine Anforderungen im Düngerecht enthalten sind und sich diese auch nicht aus den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung ergeben.

Die zugehörige Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) benennt für ausgewählte Schwermetalle und eine Auswahl organischer Parameter Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte. Für das prinzipielle Gesetzesziel des Bodenfunktionserhalts wird auf eine Vielzahl verursacherbezogener Regelungen (wie Düngemittelrecht, Abfallrecht, Baurecht usw.) verwiesen [BBodSchV 1999].

Bundesnaturschutzgesetz

Gemäß § 1 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) sind Böden so zu erhalten, dass sie ihre Funktion im Naturhaushalt erfüllen können. In § 23 gibt es folgende Vorgaben für Naturschutzgebiete: Alle Handlungen, die zu einer Zerstörung, Beschädigung oder Veränderung des Naturschutzgebiets oder seiner Be-

¹² <http://www.lanuv.nrw.de/agrar/duengemittel/biogasanlagen.htm>

standteile oder zu einer nachhaltigen Störung führen können, sind nach Maßgabe näherer Bestimmungen verboten [BNatSchG 2009].

Konkrete Naturschutzgebietsverordnungen werden gebietsspezifisch erstellt, enthalten aber i. d. R. Vorgaben, dass im Gebiet nicht gedüngt werden darf [NSGVO 2011] oder zumindest, dass Klärschlamm, Gülle, Festmist und Düngemittel generell im Schutzgebiet nicht gelagert und in der Kernzone bzw. auf Gewässerrandstreifen auch nicht ausgebracht werden dürfen [NSGVO 2001].

Abfallrahmenrichtlinie

Die Abfallrahmenrichtlinie [2008/98/EG] verfolgt die Ziele einer Minimierung nachteiliger Auswirkungen der Abfallerzeugung und -bewirtschaftung auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt, einer Verringerung des Ressourcenverbrauchs sowie der Förderung der Verwertung von Abfällen und der Verwendung verwerteter Materialien zur Erhaltung der natürlichen Rohstoffquellen durch Einführung des Lebenszyklusdenkens für Produkte und Stoffe.

Die Behandlung von Bioabfällen soll auf eine Art und Weise erfolgen, die ein hohes Maß an Umweltschutz gewährleistet. Die Kommission führt eine Bewertung der Bewirtschaftung von Bioabfällen durch, damit sie erforderlichenfalls einen Vorschlag unterbreiten kann. Bei der Bewertung ist zu prüfen, ob Mindestanforderungen für die Bewirtschaftung von Bioabfällen und Qualitätskriterien für Kompost und Gärrückstände aus Bioabfällen festgelegt werden sollten, um ein hohes Niveau des Schutzes der menschlichen Gesundheit und der Umwelt sicherzustellen.

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) ist das grundlegende Bundesgesetz zur Abfallthematik. Es regelt den Umgang mit sowie die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen und die damit gekoppelte Förderung der Kreislaufwirtschaft [KrW-/AbfG 1994].

Details zur Handhabung von Bioabfällen werden in der nachfolgend erwähnten Bioabfallverordnung ausgeführt. Diese wurde auf Grund des § 8 Abs. 1 und 2 des KrW-/AbfG verordnet.

Aufgrund der mit Inkrafttreten des KrW-/AbfG erfolgten Verzahnung von Abfallrecht mit Düngemittelrecht unterliegt die Verwertung von Bioabfällen und Gemischen mit Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden sowohl abfallrechtlichen als auch düngemittelrechtlichen Bestimmungen.

Mit der Zustimmung des Bundestags zu einer Neuregelung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes am 28. Oktober 2011 wird der Einsatz von Gülle in Biogasanlagen künftig als Abfallbeseitigung gewertet. Die vorgenommene Gesetzesänderung basiert auf einem Wunsch der EU-Kommission, welche sich für eine entsprechende Auslegung der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) und deren Umsetzung im Kreislaufwirtschaftsgesetz eingesetzt hat.

Gemäß § 3 der Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV) haben Entsorgungsträger, Erzeuger und Besitzer von Bioabfällen diese vor einer Aufbringung oder der Herstellung von Gemischen einer Behandlung zuzuführen, welche die seuchen- und phytohygienische Unbedenklichkeit gewährleistet.

Die im Anhang 1 Nr. 1 der BioAbfV aufgeführten pflanzlichen Bioabfälle sind grundsätzlich für eine Verwertung auf Flächen geeignet. Es ist zu beachten, dass die genannten Abfallarten (Spalte 1) in den meisten Fällen durch Nennung der verwertbaren Abfallart in Spalte 2 der Liste eingeschränkt wurden. Außerdem sind die „Ergänzenden Hinweise“ in Spalte 3 zu berücksichtigen.

Die Regelungen der Anlage 1 Nr. 1 BioAbfV zu den landwirtschaftlich verwertbaren Arten von tierischen Abfällen gelten nur dann, wenn diese bereits vor Beginn der Vergärung überhaupt der BioAbfV unterliegen, also keine der EG-Verordnung Nr. 1069/2009 unterliegenden tierischen Nebenprodukte sind.

Sind im Gärrückstand enthaltene Arten von tierischen Materialien vor Beginn der Vergärung als tierische Nebenprodukte anzusehen, ist die landwirtschaftliche Verwertung eines wegen der Mitvergärung auch von Bioabfällen insgesamt der BioAbfV unterliegenden Gärrückstandes nach § 2 Nr. 4 i.V.m. Nr. 5 BioAbfV nur dann zulässig, wenn die jeweiligen Arten von tierischen Nebenprodukten in Anlage 1 Abschnitt 3 i.V.m. Anlage 2, Tab. 11 und 12 Düngemittelverordnung aufgeführt sind und wenn im Übrigen die veterinärrechtlichen Anforderungen erfüllt sind (Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung, Verordnung (EG) Nr. 181/2006).

Bei Anlagen, in denen Wirtschaftsdünger und Bioabfälle gemeinsam behandelt werden und die damit der BioAbfV unterliegen, ist in solchen Fällen eine Ausnahmegenehmigung nach § 4 Abs. 3 BioAbfV zur Aufbringung des Gärrückstandes erforderlich.¹³

Die Novellierung der BioAbfV ist am 27.04.2012 verkündet worden und betrifft auch den Bereich der Gärproduktaufbringung. Zum aktuellen Stand der Diskussion sei auf Informationen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit verwiesen¹⁴.

Abfallverzeichnis-Verordnung

Die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) dient zur Bezeichnung von Abfällen und der Einstufung von Abfällen nach ihrer Gefährlichkeit. Sie wurde am 10. Dezember 2001 zur Umsetzung des Europäischen Abfallkatalogs erlassen [AVV 2001].

3.1.3.3 Technische Regelungen und freiwilliges Regelwerk mit Auswirkungen für den Bodenbereich

Qualitätssicherung

Siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 3.1.2.3 zum Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA).

¹³ <http://www.lfu.bayern.de/abfall/biogashandbuch/doc/kap223.pdf>

¹⁴ <http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/abfallrecht/national/doc/40696.php>

Nationale Nachhaltigkeitsstrategie

Die Bundesregierung will mit einem vorsorgenden Bodenschutz einen wirksamen Gesundheits- und Verbraucherschutz gewährleisten. Entsprechend der Nationalen Strategie setzt sie sich deshalb dafür ein, dass unerwünschte Stoffeinträge in den Boden soweit wie möglich vermieden werden.¹⁵

3.1.4 Rechtsbereich Hygiene

EG-Hygieneverordnung

Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte).

Die EG-Hygieneverordnung (Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte) regelt die Produkthygiene von Stoffen tierischen Ursprungs. Zugelassen für eine Weiterverarbeitung in Biogasanlagen sind nach Anlage 2 Tabelle 7 der Verordnung nur tierische Nebenprodukte der Kategorien 2 und 3 verbunden mit hohen hygienischen Anforderungen. In Ergänzung zur Verordnung (EG) 1069/2009 werden in der EG-Verordnung 808/2003 (Verordnung zur Änderung der Verordnung 1774/2002) behandelte und unbehandelte Wirtschaftsdünger (Material der Kat. 2) gleichgesetzt und somit die Hygieneanforderungen an vergorene Wirtschaftsdünger (Biogasgülle) im Vergleich zu anderen Substraten tierischen Ursprungs deutlich reduziert. Organische Düngemittel dürfen nur in den Verkehr gebracht werden, sofern sie aus Material der Kategorie 2 oder 3 gewonnen und wenn Sie zur Verhinderung von Gefahren für die Umwelt in dafür zugelassenen und registrierten Betrieben behandelt wurden (Drucksterilisation). Des Weiteren ist für bestimmte Ausgangsstoffe eine aerobe bzw. anaerobe Behandlung vorgeschrieben. Vom Hersteller ist zu gewährleisten, dass deren Verwendung für Fütterungszwecke aufgrund der Zusammensetzung, Verpackung und Kennzeichnung ausgeschlossen ist [1069/2009/EG].¹⁶

Das Tierische Nebenprodukte Beseitigungsgesetz dient der Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 [TierNebG]. Die Vorschriften der daraus hervorgegangenen Tierischen Nebenprodukte Beseitigungsverordnung gelten entsprechend für den Umgang mit tierischen Nebenprodukten im Sinne des Artikels 2 Abs. 1 Buchstabe a der Verordnung (EG) Nr.1774/2002, einschließlich Küchen- und Speiseabfälle tierischer Herkunft im Sinne des Artikels 1 Abs. 2 Buchstabe e der Verordnung (EG) Nr.1774/2002.

Tierische Nebenprodukte dürfen in einer Biogasanlage, die nach Artikel 15 Abs. 1 und 2 der Verordnung (EG) Nr.1774/2002 zugelassen ist und nicht den §§ 14 und

¹⁵ http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2006-2007/perspektiven-fuer-deutschland-langfas-sung.pdf;jsessionid=E03D5CF7A60C516454F7E74F1BF4BA05.s2t1?__blob=publicationFile

¹⁶ <http://www.tll.de/ainfo/pdf/biog0910.pdf>

15 unterfällt, nur verarbeitet werden, wenn der Betreiber der Biogasanlage sicherstellt, dass in die Anlage Material der Kategorie 3 nur verbracht wird, soweit es vor Einbringen in den Fermenter gemäß Anhang VI Kapitel II Buchstabe C Nr.12 der Verordnung (EG) Nr.1774/2002 pasteurisiert worden ist oder eine Pasteurisierung des Fermentationsrückstandes erfolgt. Biogasanlagen, in denen ausschließlich Küchen- und Speiseabfälle der Kategorie 3 eingesetzt werden, bedürfen nicht der Zulassung nach Artikel 15 Abs.1 und 2 der Verordnung (EG) Nr.1774/2002 [Tier-NebV 2006].

3.1.5 Abschließende Betrachtungen zu Restriktionen der Gärproduktaufbringung

Die zentrale Forderung für den Wasserbereich, das Verschlechterungsverbot (Trendumkehr bei $\geq 37,5$ mg Nitrat/l), findet sich sowohl in der Wasserrahmenrichtlinie als auch in der Grundwasserrichtlinie. Letztere setzt auch die höchst relevante Qualitätsnorm für die Nitratkonzentration bei 50 mg/l. Die wesentlichen nachgeordneten Regelungen dienen der konkreten Realisierung dieser Ziele unter anderem durch Ausweisung von und Handlungsanweisungen für Wasserschutzgebiete. Hervorzuheben ist in diesem Bereich insbesondere die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), an deren Hauptversammlungen auch Landwirtschaftsvertreter teilnehmen.

Im Bodenbereich (mit direktem Bezug zum Wasserbereich) ist auf EU- Ebene die Europäische Nitratrichtlinie besonders hervorzuheben mit der Zielsetzung, die durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen verursachte oder ausgelöste Gewässerverunreinigung zu verringern und weiteren Gewässerverunreinigung dieser Art vorzubeugen. Als sehr bedeutsames Steuerungsinstrument sei hier zusätzlich auf die Vorschriften der Cross Compliance verwiesen, welche eine Verknüpfung von Prämienzahlungen mit der Einhaltung von Umweltstandards beinhaltet. Cross Compliance wird in der agrarpolitischen Praxis zunehmend eingesetzt, wobei die Einhaltung der Standards eine Voraussetzung für den Erhalt von Prämienzahlungen darstellt. Im Bundesrecht sei die Forderung der Düngeverordnung hervorgehoben, jährliche Nährstoffsalden zu erstellen. Diese Forderung ist dort mit Vorgaben für den maximalen N-Bilanzüberschuss verbunden. Von Seiten des DVGW Projektkreises Landbewirtschaftung und Gewässerschutz werden im Zusammenhang mit der Gärproduktlagerung und -ausbringung verschiedene Forderungen aufgestellt, damit es nicht zu einer Erhöhung von ungenutzten Nährstoffen, von Schwermetallen und anderen Schadstoffen auf der Fläche oder eine Anreicherung im Boden und zu Einträgen in die Gewässer kommt. Beispielweise wird gefordert, die organische Düngung auf eine Stickstoff-Ausbringungsmenge von max. 170 kg/ha jährlich unter Einbeziehung des Gärproduktes zu begrenzen. Dabei ist die gesamte Stickstoffmenge des Gärproduktes und nicht nur dessen Stickstoffanteil aus tierischer Herkunft zu berücksichtigen. In Wasserschutz- bzw. Wassereinzugsgebieten und aus Sicht des Gewässerschutzes empfindlichen Gebieten ist gemäß dieser Forderung die organische Düngung insgesamt auf eine Stickstoff-Ausbringungsmenge von 120 kg N/ha jährlich zu begrenzen [DVGW 2012].

Aufgrund der mit Inkrafttreten des KrW-/AbfG erfolgten Verzahnung von Abfallrecht mit Düngemittelrecht unterliegt die Verwertung von Bioabfällen und Gemischen mit Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden sowohl abfallrechtlichen als auch düngemittelrechtlichen Bestimmungen.

Unter dem Gesichtspunkt einer anzustrebenden nachhaltigen Ausgestaltung der Düngepraxis mit Wirtschaftsdünger fällt auf, dass die den Boden betreffenden Regelungen aus einer nachhaltigen Perspektive nicht ausreichend mit den für die Wasserqualität zuständigen Regelungen verzahnt sind. Die mit dem Verschlechterungsverbot der Wasserrahmenrichtlinie zusammenhängenden und daraus folgenden Forderungen zur Trendumkehr hinsichtlich der Nitratbelastung des Grundwassers sind rechtlich nicht ausreichend verbunden mit entsprechenden düngerechtlichen Regelungen, obwohl hier ein ursächlicher Zusammenhang besteht. Bei Ausschöpfung der laut Düngeverordnung maximal zulässigen Ausbringungsmengen organischer Nährstoffträger, können am Ende der Vegetationszeit erhöhte Nitratstickstoffgehalte im Boden vorliegen.

Insbesondere werden auch im aktuell gültigen Landwirtschaftsrecht die für die Grundwasserbelastung sehr bedeutsame atmosphärische Deposition sowie nicht direkt pflanzenverfügbare N_{org} -Mengen hinsichtlich der Bilanzrechnung nicht mitberücksichtigt.

Der Schadstoffeinbringung, hier insbesondere der Einbringung von Nitrat in Wasserschutzgebieten ist verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen. Wasserschutzgebietsverordnungen könnten z. B. erfolgsorientierte d. h. an Nachhaltigkeitskriterien orientierte Kooperationsvereinbarungen zwischen Landwirten und Wasserversorgern vorsehen.

Insbesondere die bestehenden technischen und freiwilligen Regelungen bieten wichtige Ergänzungen zum bestehenden Recht und können als Vorlagen für eine weitere nachhaltigkeitsorientierte Ausgestaltung des Rechts dienen. Hervorgehoben sei hier exemplarisch das DVGW-Arbeitsblatt W104 für eine gewässerschützende Landbewirtschaftung. Hier werden Vorgaben für den Energiepflanzenanbau gemacht (z. B. Begrenzung des Stickstoffbilanzüberschusses).

Die Regelungen aus dem Abfall- und Hygienerecht hinsichtlich des Einsatzes von Kosubstraten sollten insbesondere im Hinblick auf darin möglicherweise enthaltene Schadstoffe wie z. B. Human- und Tierpharmaka, Antibiotika und Industriechemikalien mit endokrinem Wirkungspotenzial strengere Kontrollen zum Verbleib dieser Stoffe im Boden oder Grundwasser vorsehen.

3.2 Nährstoffkreisläufe und -bilanzierung in der Landwirtschaft

In dieser Studie werden auf Grundlage von Nährstoffbilanzen der Landwirtschaft für jede Region Deutschlands Potenziale für den Anbau von Biogassubstraten berechnet. Grundlegender Gedanke hierbei ist, dass durch den Biogasanlagenbetrieb Gärprodukte entstehen die Nährstoffe enthalten und innerhalb einer Region wie-

der ausgebracht werden müssen. Da auf Böden nur eine bestimmte Menge insbesondere an organischem Stickstoff ausgebracht werden darf, ist die „Produktion“ von Gärprodukten die diese Nährstoffe enthalten, begrenzt. Dadurch ist ebenfalls der Einsatz von Biogassubstraten in Biogasanlagen begrenzt. Da jede Region eine andere landwirtschaftliche Struktur in Bezug auf Viehhaltung und Ackerbau aufweist, ist auch das Potenzial zur Produktion von Biogassubstraten in jeder Region verschieden.

Um ein Potenzial auf Basis von Nährstoffbilanzen berechnen zu können, muss für jede Region die bestehende Nährstoffzufuhr durch Düngung und andere Einflussfaktoren sowie die Nährstoffabfuhr mit dem Erntegut bestimmt werden. Die Nährstoffbilanz stellt die Nährstoffzufuhr der Nährstoffabfuhr gegenüber. Die Düngebedarfsrechnung dient als das wesentliche Werkzeug zur Berechnung der spezifisch auf die Feldfrüchte und Standorteigenschaften abgestimmten notwendigen Nährstoffmengen.

3.2.1 Problematik

Je nach Berechnungsart und Datenstand (Zeitpunkt und Häufigkeit der Probenahme) können unterschiedliche Nährstoffmengen im Boden bestimmt werden. Zusätzlich wird die Situation durch unspezifische Nährstoffflüsse aus Gärprodukten verändert. Insbesondere durch den deutlichen Zubau von Biogasanlagen ändern sich die Nährstoffflüsse in der Ausbringungsregion, was Einflüsse auf Wasser- und Bodenqualität haben kann. Diese Abhängigkeiten werden daher in einem speziellen Nährstoffmodell untersucht, um räumlich darstellen zu können, wo in Deutschland Optionen für ein Nährstoffmanagement (Verminderung des Mineraldüngereinsatzes, Aufbereitung, Export etc.) entwickelt werden sollten.

3.2.2 Nährstoff-Kreisläufe

Natürliche Ökosysteme sind gekennzeichnet durch geschlossene Nährstoffkreisläufe. In der Natur unterliegen diese Nährstoffkreisläufe komplexen Wechselbeziehungen, die abhängig sind von den Faktoren Luft, Wasser, Boden, Flora, Fauna und dem Menschen [SCHEFFER 2002].

Viele Stoffe unterliegen in der Natur einem Kreislauf, d.h. einer kontinuierlichen Umwandlung von einem Zustand bzw. einer Verbindung zu einem bzw. einer anderen, bis am Ende wieder der Ausgangsstoff vorliegt. Ökosysteme basieren darauf, dass ein für sie charakteristischer Stoff- und Energiefluss stattfindet und können auf Änderungen empfindlich reagieren. Die aus der Sicht der Ökologie wichtigsten Stoffkreisläufe sind die des Sauerstoffs, des Kohlenstoffs, des Stickstoffs und des Phosphors, die im Folgenden erläutert werden.

Stoffkreisläufe können zwischen und innerhalb der Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre stattfinden. Jede dieser Sphären stellt dabei einen oder mehrere Speicher für den jeweils betrachteten Stoff dar. Die Speicher wirken da-

bei sowohl als Quelle wie als Senke. Zwischen den einzelnen Speichern findet ein Fluss des jeweiligen Stoffs statt [GEWEB 2012].

Eine anthropogene Beeinflussung durch Tierhaltung und Pflanzenproduktion führt einerseits zu einer Überversorgung des Bodens mit Nährstoffen und andererseits zu einem Nährstoffaustrag. Somit bildet die Interaktion zwischen Landwirtschaft und Umwelt einen hohen Stellenwert, der durch Nährstoffeinsätze begünstigt wird. Umweltschäden durch die Landwirtschaft sind vor allem durch eine Eutrophierung und Ausgasung in die Atmosphäre in aller Munde [FAL 2004].

3.2.2.1 Stickstoff-Kreislauf

Der Stickstoff ist nach Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff der wichtigste Bestandteil von Lebewesen, wie Mikroorganismen, Tieren und Pflanzen. Der Stickstoffanteil macht 1-5 % des Trockengewichtes eines Lebewesens aus. Der Stickstoffgehalt von Gesteinen ist extrem gering (< 0,1 %) und weder gut mobilisierbar noch bioverfügbar. Jedoch ist der Stickstoff in vielen Ökosystemen ein wachstumslimitierender Faktor und somit Voraussetzung für funktionierende und produktive Biozönosen. Mehr als 99 % des Stickstoffes im Boden ist in organischer Bindung vorhanden als organischer Stickstoff. Dabei sind die stickstoffhaltigen Ausgangsmaterialien vor allem Proteine, Chitin und DNS. Der organische Stickstoff ist jedoch für Pflanzen und viele andere Bodenorganismen nicht verwertbar. Deshalb ist eine Überführung in mineralische „N-Formen“ notwendig. Das kann zunächst erfolgen durch den Prozess der Stickstoff-Mineralisierung und der Ammonifikation. Weitere Prozesse sind die Nitrifikation und die Denitrifikation [MARSCHNE 2012].

Die Atmosphäre stellt die vorherrschende Phase des Stickstoffkreislaufs dar. Der in der Atmosphäre als N_2 enthaltene Stickstoff kann durch photochemische Umwandlung oder durch Bakterien und bestimmte Algen zu NH_3 (Ammoniak) bzw. NO_x fixiert werden. Organisch gebundener Stickstoff wird zu Ammonium NH_4^+ abgebaut (Ammonifikation). Nitrat kann aber auch durch Übergang in die Meeresedimente dem Kreislauf für geologische Zeiträume entzogen werden.

Tabelle 2: Größenordnung für die Stickstoffumsetzung zwischen Boden-Pflanze-Atmosphäre/Hydrosphäre, Quelle: Eigene Darstellung nach [MARSCHNE 2012]

Bilanz Input/Output	kg ha ⁻¹ a ⁻¹
Input aus Atmosphäre	20-70
Output in Atmosphäre und Gewässer	10-35
Input aus Pflanzenmaterialien	30-200
Output durch Pflanzenaufnahme	30-200

Abbildung 4 zeigt den ursprünglichen Stickstoffkreislauf. Darauf sind verschiedene Eintragspfade von Stickstoff erkennbar.

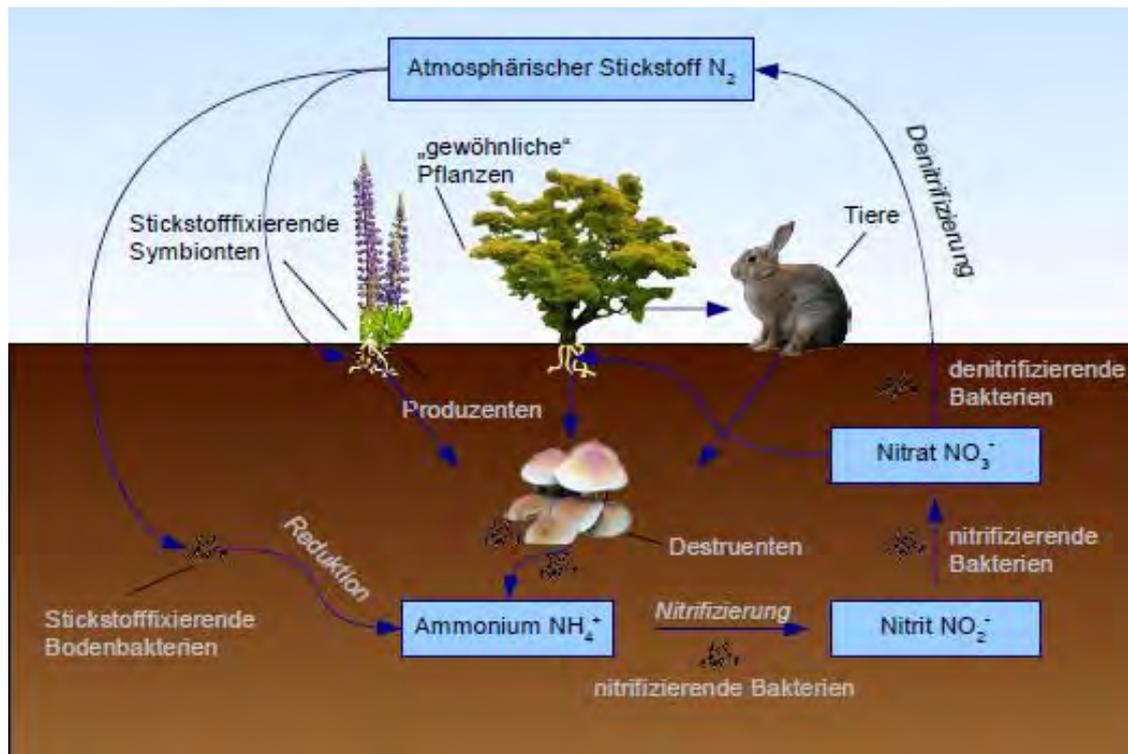


Abbildung 4: Stickstoffkreislauf, Quelle: [GEWEB 2012]

In einem natürlichen Ökosystem befindet sich der Stickstoff (N) in einem Kreislauf. Pflanzen und Bakterien entziehen dem Boden Stickstoff. Über totes organisches Material und Regen wird Stickstoff wieder in den Boden eingetragen und von Bakterien wieder für die Pflanzen nutzbar gemacht. Die wichtigsten Prozesse, die sich im Boden im Zusammenhang mit Stickstoff abspielen, sind Ammonifikation, Nitrifikation und Denitrifikation. Bei der Ammonifikation wird Ammonium aus N-haltigen Verbindungen freigesetzt. Dies geschieht durch Pilze und Bakterien. Ein Teil des Ammoniums kann jetzt schon wieder von Pflanzen und Organismen verwendet werden. Der größte Teil wird allerdings zunächst nitrifiziert, das heißt in Nitrit und anschließend in Nitrat umgewandelt. Dafür sind nitrifizierende Bakterien verantwortlich. Nitrat ist die wichtigste N-Quelle für die meisten höheren Pflanzen. Für die Nitrifikation ist Sauerstoff notwendig. Herrschen anaerobe Verhältnisse im Boden (z.B. durch Staunässe) kommt es zur Denitrifikation, bei der Nitrat zu gasförmigen N-Verbindungen reduziert wird und aus dem Boden entweicht. Es steht jetzt den Pflanzen nicht mehr zu Verfügung. Menge und Nutzbarkeit von Stickstoff im Boden hängen von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehören Textur, Struktur, Kationenaustauschkapazität und die Durchwurzelungsmöglichkeit des Bodens.

Da Stickstoff ein limitierendes Element beim Pflanzenwachstum ist, muss im Gegensatz zu einer nicht bewirtschafteten Fläche bei einer landwirtschaftlichen Nutzung Stickstoffdünger zugegeben werden, weil durch das Ernten von Ackerfrüchten dem Boden Stickstoff entzogen wird [TIVY 1993].

Zusätzlich ist zu beachten, dass Kulturpflanzen eines Agrarökosystems dem Boden meist mehr Stickstoff entziehen als Wildpflanzen in einem natürlichen Ökosys-

tem. Der N-Bedarf hängt abgesehen von Art und Intensität des Bewirtschaftungssystems von Ertragspotenzial, Pflanzentyp, Art der geernteten Teile und der Vegetationsperiode ab. Getreide hat in der Regel einen höheren N-Bedarf als Blatt- oder Hackgemüse. Den größten Bedarf haben nicht einheimische C4-Pflanzen wie z.B. Mais oder Zuckerrohr, die aber auch den höchsten Biomassezuwachs aufweisen.

Der landwirtschaftlich genutzte Boden kann sowohl durch organische als auch durch anorganische Nährstoffe versorgt werden [TIVY 1993]. Bei der organischen Nährstoffzufuhr kann der Boden durch Einsaat oder durch organischen Dünger versorgt werden. Bei der Einsaat werden N-bindende Leguminosen ausgesät, die dort mithilfe von Rhizobien (ein Bakterium, das sich an den Wurzelknöllchen dieser Pflanzen befindet) Stickstoff aus der Luft im Boden anreichern.

3.2.2.2 Phosphor-Kreislauf

Phosphor ist in seiner organischen als auch in seiner anorganischen Form als Feststoff lediglich in der Lithosphäre, Pedosphäre und Hydrosphäre vorzufinden. Dabei weisen besonders die Pedosphäre und die Gesteine den größten globalen Phosphor-Speicher und somit den bedeutendsten Anteil an den globalen Kreisläufen und Phosphorflüssen auf. Die Phosphate der Gesteine sind überwiegend Apatite, aus denen das Phosphat mobilisiert wird [SCHEFFER 2002]. Durch Auswaschungsprozesse aus verwittertem Gestein gelangen Phosphat-Ionen in den Landkreislauf. Das im Boden vorhandene verfügbare Phosphor wird von den Pflanzen aufgenommen und in organische Verbindungen umgewandelt (Phosphorylierung). Dieses wird bei Abbauprozessen wieder zu anorganischem Phosphat umgewandelt. Heterotrophe Lebewesen, wie Menschen, Tiere und Bakterien, nehmen dann das Phosphat mit der Nahrung durch die Pflanzen auf. Durch den Abbau von organischen Reststoffen durch Pflanzenreste, Exkrememente und durch die Mineralisierung organischer Bodensubstanzen wird das Phosphat durch Mikroorganismen wieder pflanzenverfügbar gemacht. Dadurch schließt sich der Kreislauf wieder. Durch ackerbauliche Nutzung entzieht der Mensch dem Boden das Phosphat, sodass ein Mangel entsteht. Dieser Mangel kann und wird bei Bedarf durch Düngung gesättigt. Dadurch entsteht allerdings ein Überschuss durch Nährstoffanreicherung [BMELV 2003].

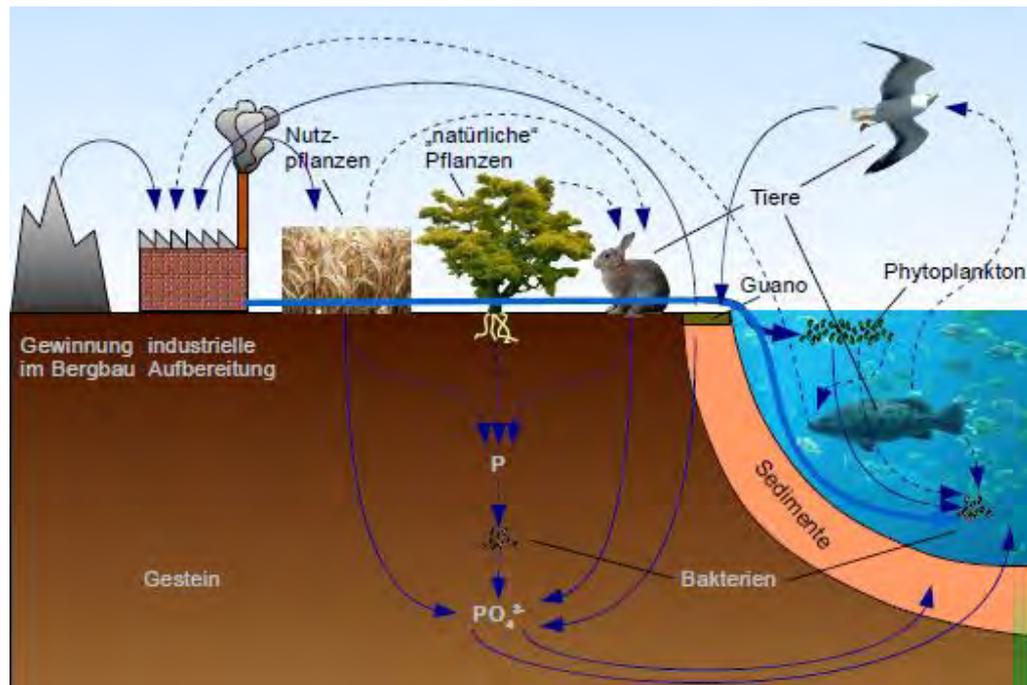


Abbildung 5: Phosphorkreislauf, Quelle: [GEWEB 2012]

Der Kreislauf auf dem Land ist gekoppelt mit dem Kreislauf in den Meeren. Durch Wind- und Wassererosion sowie einer Auswaschung des Bodens erfolgt ein Transport in die wasserführenden Schichten und in den oberflächlichen Abfluss. Das mit Phosphor belastete Abwasser wird über Vorfluter in die Flüsse und weiter in die Seen und Ozeane transportiert. Dabei können besonders aquatische Organismen wie Algen eine größere Menge an Phosphor aufnehmen und verwerten. Eine Folge eines übermäßigen Eintrags von Phosphor in die Umwelt kann die Eutrophierung eines Gewässers sein. Unter anaeroben Verhältnissen bleibt das Phosphat in Lösung, da das Fe^{2+} als Sulfid festgelegt wird. Daraus ergibt sich eine zunehmende Phytoplanktonentwicklung ohne weitere Zugabe von Phosphor, was zu weiterem Sauerstoffentzug des Gewässersystems führt und somit zu einem Kippen des Ökosystems. Der Meereskreislauf schließt sich, wenn sich nach dem Absterben aquatischer Organismen der Phosphor wieder in den Sedimenten abgelagert und somit der Lithosphäre erneut zugeführt wird [GEODZ 2010]. Im Gegensatz dazu führen aerobe Bedingungen zur Bildung von unlöslichem FePO_4 . Dies führt zu immobilisierten Phosphaten, sodass sie im Gewässerökosystem für die Primärproduktion nicht mehr zur Verfügung stehen.

Wichtigste Ursachen der Phosphat-Verlagerung auf globaler Ebene sind der Abbau von Phosphat-Erzen zur Gewinnung mineralischer Düngemittel und die Bodenerosion. Die Verlagerungsrate für beide Vorgänge liegt bei einer Größenordnung von $0,02 \cdot 10^9$ t Phosphor/a [GEODZ 2010].

3.2.2.3 Kalium-Kreislauf

Auf die Bilanzierung von Kalium wurde nach eingehender Prüfung verzichtet, da es kein hohes Schadpotenzial aufweist und daher auch keine grenz- bzw. Prüfwerte für Kalium definiert wurden. Der Bodenwasserhaushalt wird durch Kalium verbessert und der pflanzenverfügbare Anteil an Wasser im Boden durch hohe Kaliumgehalte erhöht. Kalium hat auch direkt einen positiven Einfluss auf den Ertrag der Pflanzen, da es u. a. Einfluss auf die Photosyntheseleistung, die Enzymaktivität und die Resistenz (Frost, Krankheiten) der Pflanzen nimmt und diese steigert. Ebenso stärkt es Transporte in die Pflanze und hemmt Trockenstress. Generell lässt sich sagen: Je mehr Kalium desto besser. Sollte es dennoch zu einem Kalium-Überschuss kommen, so führt es bei Pflanzen zu Calcium- und Magnesium-Mangel und manchmal zu Wurzelverbrennungen. [DAMM 2010; K+S Kali GmbH 2012].

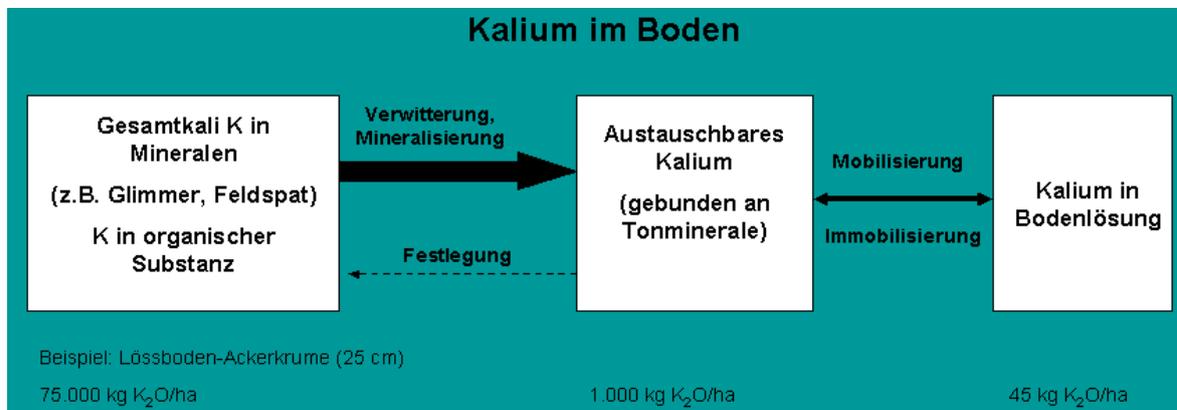


Abbildung 6: Kalium im Boden, Quelle: [Eigene Darstellung nach GUHL 2009]

3.2.3 Methoden zur Nährstoffbilanzierung

Es gibt je nach Betrachtungsebene und Datenverfügbarkeit unterschiedliche landwirtschaftliche Bilanzierungsmethoden. Die wichtigsten sind im Folgenden aufgeführt:

Nationale N-Bilanzierung

Nach [PARCOM 1993] können grundsätzlich zwei Bilanzierungen landwirtschaftlicher Nährstoffströme unterschieden werden: die „nationale Grundmineralbilanz“ und die „vollständige nationale Mineralbilanz“. Erstere wird auch als sektorale oder Hoftor-Bilanz bezeichnet, wobei der Hof als Black Box angenommen wird.

N-Bilanzierung für den landwirtschaftlichen Betrieb

Die Hoftor-Bilanz umfasst den gesamten landwirtschaftlichen Betrieb. Es werden Stoffe betrachtet, die von außen zugeführt werden, und solche, die das Unternehmen verlassen. Wirtschaftsdünger werden generell als betriebsintern erzeugt und verwertet angesehen. Wenn der Wirtschaftsdünger verkauft oder auf Flächen anderer Landwirte aufgebracht wird, muss er als Output in der Bilanz aufgeführt

werden. Der innerbetriebliche Nährstoffkreislauf mit schwer bestimmbareren Größen bleibt unberücksichtigt. Stattdessen wird auf exaktere Daten der Buchführung zurückgegriffen (Zukauf/Verkauf). Das betriebliche Bilanzergebnis beinhaltet alle betriebsindividuellen Einflüsse, hat allerdings keinen unmittelbaren Flächenbezug. In Hinblick auf den Gewässerschutz wird in der Regel der N-Saldo unter Abzug der normativ (gemäß DüV) berechneten gasförmigen Verluste (NH_3) herangezogen.

Die Feld-Stall-Bilanz wird von der DüV als Bilanzierungsmethode für den Nährstoffvergleich vorgeschrieben, da mit dieser Bilanzmethode im Gegenzug zur Hoftorbilanz (Betriebsbezug) ein direkter Flächenbezug gegeben ist. Unterschied zur Hoftorbilanz ist dabei, dass Tierbestandsveränderungen und der Verkauf von tierischen Produkten nicht mit berücksichtigt werden. Dafür wird aber die betriebsinterne Ausbringung von Wirtschaftsdünger in Abhängigkeit vom Anfall (Tierart, Tieranzahl, Leistungsklasse) auf die gesamte bewirtschaftete Betriebsflächen einbezogen. Im Vordergrund dieser Bilanz steht die Zufuhr von Nährstoffen auf die Gesamtbetriebsfläche durch Dünger, Saaten und durch die biologische N-Bindung sowie die Abfuhr durch Feldfrüchte (z. B. Stroh, Heu, Marktfrüchte usw.). Der Bilanzrahmen schließt also alle Zufuhren auf und alle Abfuhren von den Betriebsflächen ein. Hierbei wird auf Schätzgrößen zurückgegriffen (Faustzahlen zu Nährstoffausscheidungen, geschätzte Erntemengen), die die spezifische betriebliche Realität nicht unbedingt abbilden. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Zufuhr aus innerbetrieblicher oder externer Produktion stammt bzw. ob die abgefahrenen Feldfrüchte im Betrieb eingesetzt werden oder ob sie ihn verlassen.

Beide Bilanzverfahren (*Hoftor- und Feld-Stall-Bilanz*) berücksichtigen die Stickstoffverluste im Stall und bei der Lagerung und Ausbringung aus landwirtschaftlicher Sicht, d. h. die landwirtschaftlichen NH_3 -Verluste, die im Umkreis über die atmosphärische N-Deposition in den Boden gelangen und mit zur Auswaschung beitragen können, bleiben unberücksichtigt. Wird die atmosphärische N-Deposition auch nicht anhand anderer Datenquellen (z.B. nationale N-Depositionsmodellierungen) berücksichtigt, so ist das Bilanzergebnis (N-Saldo) unterschätzt. Die N-Salden der Feld-Stall-Bilanz sind bei viehhaltenden Betrieben oft niedriger als die der Hoftorbilanz, da Grundfuttererträge nur abgeschätzt und meist überschätzt werden. Beide Bilanzierungsverfahren sind zudem sehr arbeits- und zeitaufwändig für megaskalige Betrachtung, wie in der vorliegenden Arbeit, ungeeignet.

N-Bilanzierung für die Bewirtschaftungseinheit (Schlag)

Eine weitere Bilanzart ist die Schlagbilanz. Der **Schlagbilanz** liegt eine Flächenbilanz zugrunde. Betrachtet wird hierbei aber nur ein Schlag (eine Bewirtschaftungseinheit) als räumlich zusammenhängende, einheitlich bewirtschaftete und mit derselben Kultur bewachsene Fläche. Auch hier wird die gesamte Nährstoffzufuhr durch Mineral- und Wirtschaftsdünger sowie durch die legume N-Bindung und sonstige Zukäufe bilanziert. Die Abfuhr erfolgt durch Futter und Stroh oder Marktfrüchte [VDLUFA 2007]. Die Schlagbilanz stellt die kleinste Bezugseinheit dar. Der Vorteil dabei ist, dass die verschiedenen Bewirtschaftungseinheiten einzeln betrachtet werden und dadurch Mängel oder Überschüsse lokal erkannt werden können. Voraussetzung sind genaue schlagbezogene Aufzeichnungen und Ausbringungsnachweise über eingesetzte Mineral- und Wirtschaftsdünger und gewogene Erträge.

N-Bilanzierung auf regionaler Ebene

Regionale Bilanzen für Landkreise und Gemeinden können nur durch Flächenbilanzen kalkuliert werden: Für diese Bilanzmethode stehen die erforderlichen statistischen Eingangsgrößen flächendeckend zur Verfügung bzw. können über spezifische Ansätze abgeleitet werden. Als Datenquellen dienen dafür die Agrarstrukturerhebungen des Statistischen Bundesamtes bzw. der jeweiligen Statistischen Landesämter. Für die vorliegende Studie waren N-Bilanzierungen auf regionaler Ebene erforderlich.

3.2.3.1 Methodik der Nährstoffbilanzierung nach Bach & Frede

Die Schwierigkeit bei der Ermittlung regionaler Nährstoffbilanzen sind die fehlenden Daten zum Mineraldüngereinsatz. Bach & Frede haben eine Methodik entwickelt, mit der auf Basis der amtlichen Agrarstatistik und dem kulturspezifischen Nährstoffbedarf der regionale Düngereinsatz abgeleitet wird. Diese Methodik, die einer Flächenbilanz entspricht, wird im Projekt für N-, P- und K-Bilanzen angewandt. Im Folgenden wird zunächst die Methodik im Original erläutert, anschließend wird auf vorgenommene Modifizierungen eingegangen. In Kapitel 6 wird dargelegt, wie auf Basis der Nährstoffbilanzen Potenziale für die Nutzung von Anbaubiomasse in Biogasanlagen berechnet werden.

Stickstoff-Bilanz

Die Methodik zur Stickstoffbilanzierung nach Bach & Frede ist vergleichsweise einfach gehalten. Als Einflussfaktoren für den N-Überschuss werden hier Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Sekundärrohstoffdünger, atmosphärische N-Deposition und die biologische N-Fixierung berücksichtigt, für den Austrag nur der Abtransport von Nährstoffen mit dem Erntegut. Für die Bilanzierung werden – wie im Folgenden dargestellt – verschiedene Quellen für die Daten herangezogen [Bach & Frede 2005].

Die N-Zufuhr über organische Düngung in Form von Wirtschaftsdünger wird berechnet, indem die Anzahl der im Gemeindegebiet befindlichen Tiere mit dem Mittelwert der Stickstoffausscheidung pro Tier multipliziert wird. Der Tabelle 3 ist zu entnehmen wie groß der Anteil des pflanzenverfügbaren Stickstoffs am Wirtschaftsdünger der einzelnen Tierarten ist.

**Tabelle 3: Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern verschiedener Tierarten
[Bach & Frede 2005]**

Vieheinheit	Stickstoff pro Tier und Jahr [kg]	Stickstoffverfügbarkeit [%]
Milchkühe	101	66
Andere Rinder	50	66
Mastschweine (>50 kg)	10,2	69
Zuchtsäue	31	69
Andere Schweine	4	69
Schafe & Ziegen (jeden Alters)	10	60
Legehennen (>1/2 Jahr)	0,73	64

Die N-Zufuhr über Sekundärrohstoffdünger ist in der Studie für alle Kreise auf den deutschen Durchschnitt von 4 kg N/ha angenommen. Die Menge des durch atmosphärische Einträge abgelagerten Stickstoffs wurde bei Bach & Frede aus den Ergebnissen des EMEP-Programms 2002 (European Monitoring and Evaluation Programme) übernommen. Für die Menge des Stickstoffs, die durch biologische Fixierung in den Boden eingetragen wird, sind Werte von 20 kg/ha für Grasland, 160 kg/ha bei Leguminosen und 65 kg/ha bei anderen Futterpflanzen angesetzt. Der Stickstoffverlust durch Ernteabfuhr pro ha Ackerfläche errechnet sich aus dem Ernteertrag und Stickstoffgehalt im Erntegut. Für Feldfrüchte ohne genaue Ernteerträge werden die in Tabelle 5 aufgeführten pauschalen N-Entzüge hinterlegt.

Tabelle 4: Menge und Anteil des enthaltenen Stickstoffs für Feldfrüchte mit Ertragsdaten, der durch Ernteprodukte entzogen wird [Bach & Frede 2005]

Feldfrüchte mit Ertragsdaten	Stickstoffgehalt [kg N/tFM]
Weizen	20
Roggen	15
Wintergerste	17
Sommergerste	14
Hafer	16
Triticale	18
Stroh	5
Kartoffeln	3,5
Zuckerrüben	1,8
Zuckerrübenblatt	4
Rapssamen	33
Maissilage	3,8

Tabelle 5: Menge und Anteil des enthaltenen Stickstoffs für Feldfrüchte ohne Ertragsdaten, der durch Ernteprodukte entzogen wird [Bach & Frede 2005]

Feldfrüchte ohne Ertragsdaten	Stickstoffgehalt [kg N/ha]
Wiese/Weide	140
Weinbau	30
Leguminosen	150
andere Reihenkulturen	120
Futterpflanzen	200
Gemüse und Obst	30

Nach Berechnung der N-Abfuhr mit dem Erntegut, lassen die Ergebnisse Rückschlüsse auf den eingesetzten Mineraldünger zu. Allerdings benötigt man zur Berechnung eine weitere Größe: den Stickstoffbedarf. Dieser ergibt sich aus dem Stickstoffernteeutzug * x. Dabei steht x für einen Faktor für den Nährstoffbedarf der Kulturen (kg/ha) in Abhängigkeit vom Ertrag (dt/ha) und wird vereinfachend für alle Kulturen für Stickstoff mit 1,2 angesetzt.

Der Mineraldünger lässt sich dann anhand der folgenden Formel errechnen:

$$\text{Stickstoffbedarf} - (\text{Wirtschaftsdünger} * \text{Faktor Wirtschaftsdünger}) - \text{Sekundärrohstoffdünger} - \text{N-Fixierung}.$$

Der Faktor der Düngewirksamkeit des Wirtschaftsdüngers der von den Landwirten bei der Düngung tatsächlich berücksichtigt wurde, liegt nach Bach & Frede für den Durchschnitt der Bezugsjahre 1998-2000 bei 0,4. Denitrifikationsverluste in der Bodenzone bleiben unberücksichtigt, da sie von zahlreichen Standortfaktoren und Bewirtschaftungsmaßnahmen abhängen und somit räumlich sehr variabel sind. Im Mittel werden für die landwirtschaftliche Fläche Deutschlands Denitrifikationsverlusten von ca. 25 kg N/ha angenommen [UBA 2009]

Phosphor-Bilanz

Grundsätzlich wird die Phosphor-Bilanzierung nach Bach & Frede genauso berechnet wie die Stickstoff-Bilanzierung. Allerdings entfallen hierbei die atmosphärische Deposition und die N-Fixierung. Damit bleiben für die Berechnung des Eintrags die Einflussfaktoren Wirtschaftsdünger und Sekundärrohstoffdünger. Für den Austrag wird der Abtransport der Nährstoffe mit dem Erntegut berechnet.

Die P-Zufuhr über durch organische Düngung in Form von Wirtschaftsdünger wird – wie bereits bei der Stickstoff-Bilanzierung – berechnet, indem die Anzahl der im Gemeindegebiet befindlichen Tiere mit dem Mittelwert der Stickstoffausscheidung pro Tier multipliziert wird. Tabelle 6 zeigt den Anteil des pflanzenverfügbaren Phosphors am Wirtschaftsdünger der einzelnen Tierarten.

Tabelle 6: Phosphor aus Wirtschaftsdünger verschiedener Tiere [UBA 2004]

Vieheinheit	Phosphor pro Tier und Jahr [kg]
Milchkühe	16,7
Andere Rinder	8,3
Mastschweine (>50 kg)	2,3
Zuchtsäue	6,5
Andere Schweine	1
Schafe & Ziegen (jeden Alters)	2,5
Legehennen (>1/2 Jahr)	0,145

Der Eintrag durch Sekundärrohstoffdünger ist in der Studie für alle Kreise auf den deutschen Durchschnitt von 1,5 kg P/ha festgelegt [UBA 2004].

Der Phosphorverlust durch Ernteabfuhr pro ha Ackerfläche errechnet sich auch hier als Produkt von Ernteertrag und Phosphorgehalt im Erntegut. Tabelle 7 stellt die Menge und den Anteil an Phosphor dar, der durch die Ernte entzogen wird.

Tabelle 7: P-Gehalte der Ernteprodukte [BACH 1997]

Feldfrüchte mit Ertragsdaten	Phosphorgehalt [kg P/t]
Weizen	3,5
Roggen	3,5
Wintergerste	3,5
Sommergerste	3,5
Hafer	3,5
Triticale	3,5
Stroh	1,3
Kartoffeln	0,62
Zuckerrüben	0,44
Zuckerrübenblatt	0,48
Rapssamen	10,6
Maissilage	0,71
Wiese/Weide	22
Weinbau	4
Leguminosen	21
andere Reihenkulturen	22
Futterpflanzen	25
Gemüse und Obst	3

Generell wurde die Flächenbilanz nach Bach & Frede auf Ebene der Kreise durchgeführt. Lediglich im Detail sind Änderungen vorgenommen worden:

Berechnung Atmosphärische Deposition

Für die atmosphärische Deposition wurde ein abweichender Ansatz gewählt. Sie wurde nicht aus den Ergebnissen des EMEP-Programms 2002 entnommen, da diese Daten die atmosphärische Deposition insgesamt unterschätzen und regional zu wenig differenzieren [Gauger et al. 2008]. Stattdessen wurde folgende Formel verwendet:

$$\text{Atmosphärische Deposition} = 10 + \text{Lager-, Stall- und Ausbringungsverluste} / \text{Gesamtfläche Landkreis}$$

Darin ist der Grundemissionswert aus Straßenverkehr und Hausbrand für die Deposition enthalten (ca. 10 kg N/ha nach [UBA 2003]), der durch die Emission der organischen Dünger im jeweiligen Landkreis anteilig ergänzt wird. Der so berechnete Wert für Deutschland insgesamt von 23,1 kg N/ha korrespondiert sehr gut mit anderen Literaturdaten, bspw. 24,2 [JKI 2010] oder 22,0 [UBA 2011].

Berechnung Mineraldünger

Die Berechnung des Mineraldüngers erfolgt methodisch analog zu Bach und Frede. Diese berechnen auf Basis der nationalen Stickstoffbilanz, die das Julius-Kühn Institut erstellt [JKI 2011] einen Wirksamkeitsfaktor für die Anwendung von Wirtschaftsdüngern von 0,4 für den Durchschnitt der Bezugsjahre 1998 bis 2000. Dieser Wert wurde im Rahmen der Studie mit den aktuellen Daten für die Jahre 2004 - 2007 [JKI 2010] neu berechnet. Da diese Berechnung jedoch stark von den jährlich durch Landwirte erworbenen Mineraldüngermengen abhängig ist, wurde der Durchschnittswert der Jahre 2004-2007 herangezogen, um jährliche preisbedingte Schwankungen des Mineraldüngererwerbs abzuschwächen. Der aktualisierte Wirksamkeitsfaktor liegt bei 0,6.

3.2.3.2 Ergebnisse Nährstoffbilanz

Die Ergebnisse der Flächenbilanz der Nährstoffsalden liegen auf Landkreisebene vor und werden in dieser regionalen Auflösung für die weitere Berechnung von Biogaspotenzialen genutzt. In Tabelle 8 sind die Ergebnisse auf Bundeslandebene zusammengefasst dargestellt.

Der ermittelte Stickstoff-Überschuss für Deutschland korrespondiert gut mit den Ergebnissen des Julius Kühn-Institut [JKI 2010], das ein Gesamtstickstoff-Saldo von 64,2 kg N/ha für das Jahr 2007 berechnet hat. In Hinblick auf den N-Eintrag ins Grundwasser muss allerdings berücksichtigt werden, dass es auch in der Bodenzone durch Denitrifikationsprozesse noch zu gasförmigen Verlusten in Höhe von ca. 25 kg N/ha kommt [UBA 2009].

Die P-Bilanz weist ebenfalls ein realistisches Niveau auf. Für die Jahre 2000-2002 weist [FAL 2004] einen deutschen Durchschnittswert von 2,2 kg P/ha aus.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der Stickstoffbilanz auf Landkreisebene inklusive atmosphärische Deposition dargestellt und in Abbildung 8 ohne atmosphäri-

sche Deposition. Der Vergleich der Karten zeigt dass die atmosphärische Deposition einen wichtigen Eintragsfaktor für Stickstoff darstellt. Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der Phosphorbilanz.

Tabelle 8: N- und P-Flächenbilanz der Bundesländer

Bundesland	Stickstoff-Bilanz [kg N/ha]		Phosphor-Bilanz [kg P/ha]
	inkl. atmosphärische Deposition	ohne atmosphärische Deposition	
Baden-Württemberg	67	46	2,4
Bayern	80	54	2,7
Berlin	34	24	1,9
Brandenburg	48	32	1,7
Bremen	71	54	2,2
Hamburg	43	31	1,7
Hessen	60	42	2,3
Mecklenburg-Vorpommern	53	35	2,0
Niedersachsen	86	55	3,1
Nordrhein-Westfalen	84	56	3,1
Rheinland-Pfalz	52	35	2,2
Saarland	54	39	2,0
Sachsen	59	40	2,1
Sachsen-Anhalt	51	34	2,3
Schleswig-Holstein	89	55	2,1
Thüringen	57	39	2,1
Deutschland	69	46	2,5

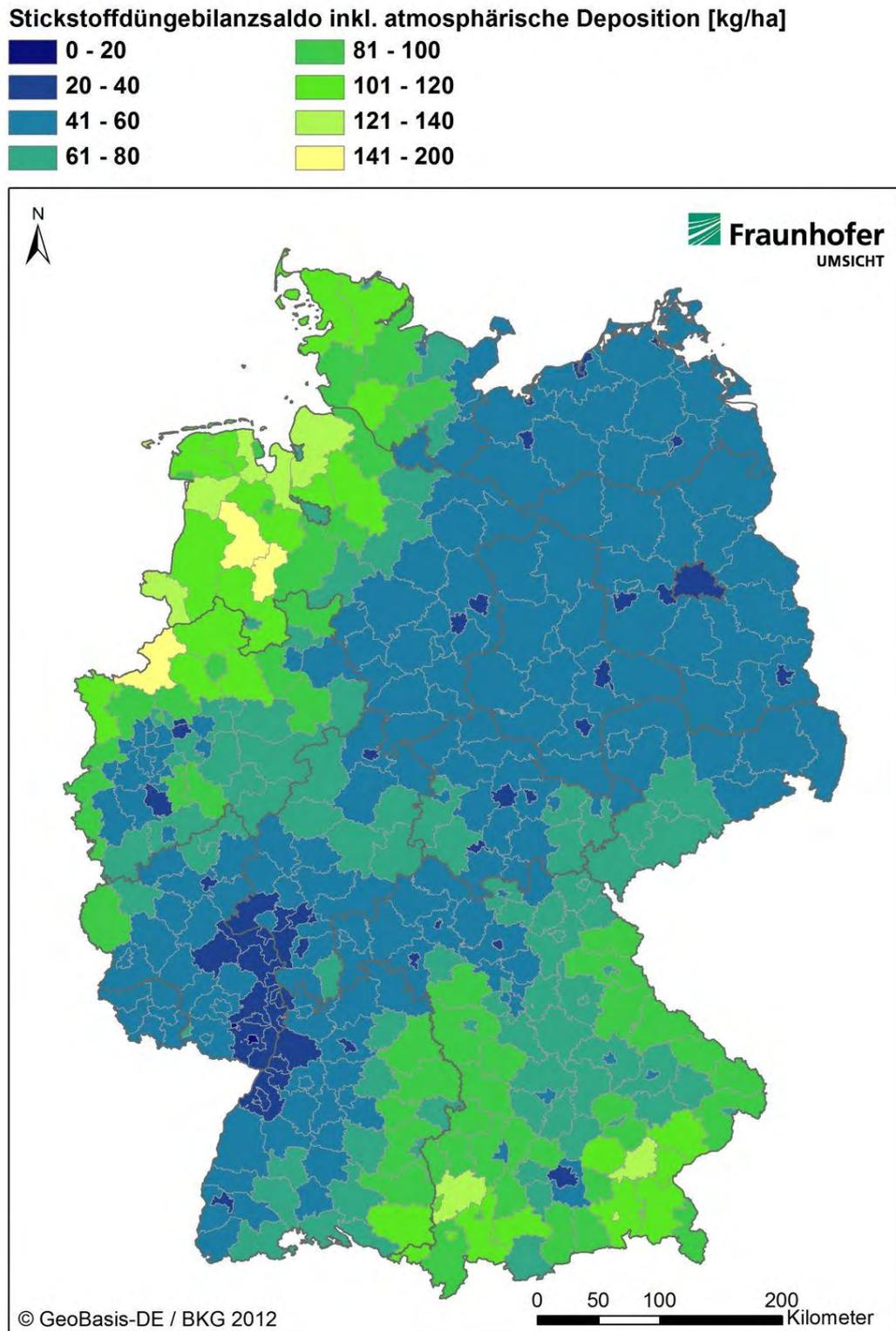


Abbildung 7: Stickstoffsaldo inklusive atmosphärische Deposition für das Jahr 2007 nach einer Methodik von Bach & Frede, verändert nach Fraunhofer UMSICHT

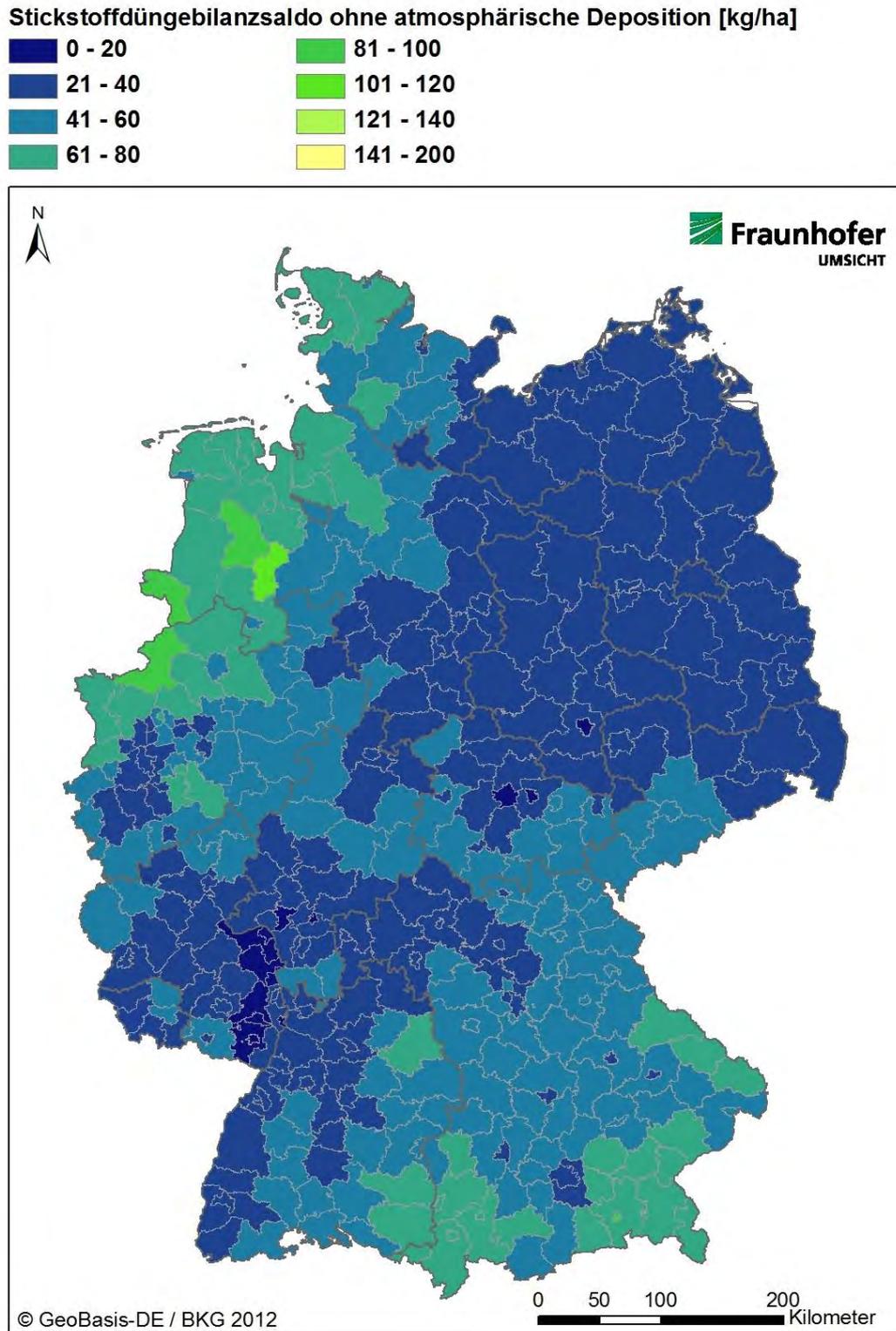


Abbildung 8: Stickstoffsaldo ohne atmosphärische Deposition für das Jahr 2007 nach einer Methodik von Bach & Frede, verändert nach Fraunhofer UMSICHT

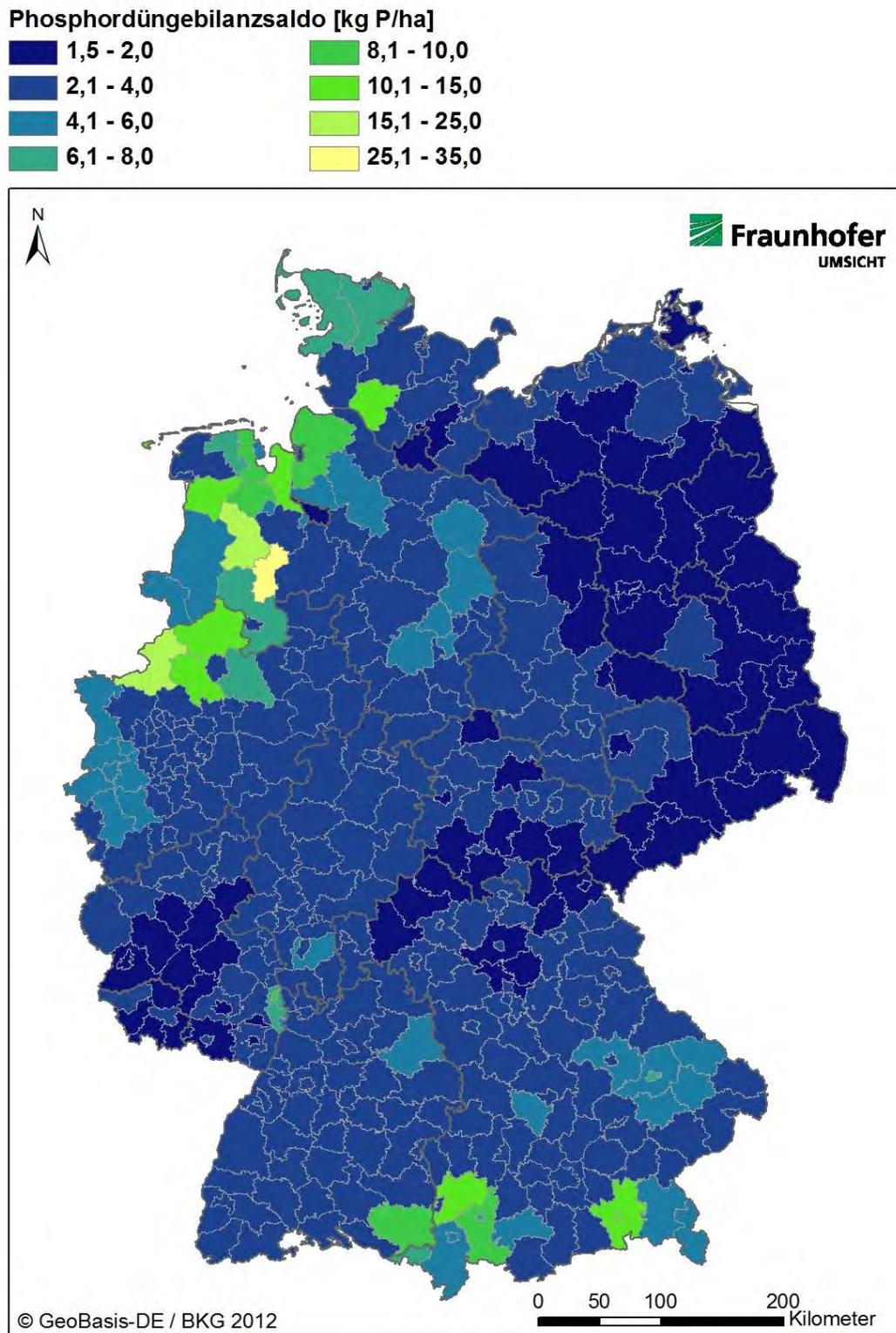


Abbildung 9: Phosphorsaldo 2007 nach einer Methodik von Bach & Frede, verändert nach Fraunhofer UMSICHT

3.3 Potenzialberechnung auf Basis von Nährstoffbilanzen

3.3.1 Überblick zur Berechnungsmethode

Um mögliche Restriktionen der Biogasnutzung durch den Anbau von Biogassubstraten und damit verbundene Stickstoffeinträge aus Düngemitteln und Gärprodukten evaluieren zu können, sind Bilanzierungstools für diese Arbeit bereitgestellt worden. Zunächst ist ein Gärproduktrechner erstellt worden mit dem in Abhängigkeit der Einsatzstoffe (Wirtschaftsdünger, NawaRo, Reststoffe) die Nährstoffzusammensetzung des Gärproduktes bestimmt werden kann. Dieser liegt tabellarisch vor und ist in einem nächsten Schritt in ein für diese Arbeit erstelltes Nährstoffbilanzierungstool integriert worden, um Stickstoffeinträge und potenzielle Nitratbelastungen im Grundwasser in einer Region evaluieren zu können.

Stickstoffinput aus dem aktuellen Anbau und Viehhaltung auf Gemeinde- bzw. Kreisebene und Veränderungen in der Zusammensetzung bei einer Ausweitung der Biogasnutzung werden in Kombination mit Informationen zur Nitratbelastung des Grundwassers in Beziehung gesetzt, um mögliche Restriktionen seitens der Grundwasserqualität in den Potenzialberechnungen berücksichtigen zu können.

Ziel ist es, zunächst Potenziale über Nährstoffbilanzen und wasserwirtschaftliche Restriktionen auf Grundlage der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen auszuweisen („business as usual“). Basierend auf diesen Berechnungen wird das technische Potenzial ausgewiesen. Darauf aufbauend werden weitere Restriktionen formuliert und als Rahmenbedingungen in die Berechnung integriert, um den nachhaltigen Umgang mit der Ressource Grundwasser zu gewährleisten. Basierend auf diesen Berechnungen wird das nachhaltige Potenzial ausgewiesen („Nachhaltige Entwicklung“). Diese berechneten Potenziale sind Vorstufenpotenziale. Sie wirken wie ein Filter zur Ausweisung der landwirtschaftlichen Potenziale innerhalb der Gesamtanalyse der Potenzialberechnung (s. Kapitel 6.2). Die Ergebnisse dieser Vorstufenpotenzialberechnung sind nur im Kontext mit weiteren Annahmen zur Gesamtpotenzialberechnung im Kapitel 6 zu sehen.

Tabelle 9 gibt einen Überblick zu den Rahmenbedingungen der Potenzialberechnungen, die nachfolgend detailliert geschildert werden.

Tabelle 9: Überblick Rahmenbedingungen der Biomassepotenzialberechnung für Biogasanlagen auf Basis von Nährstoffbilanzen

business as usual	Nachhaltige Entwicklung
<p>Beschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Düngeverordnung in Bezug auf Nährstoffe 	<p>Beschränkung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forderungen BDEW, VDLUFA, DVGW
<p>Rahmenbedingung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 60 kg N/ha und 20 kg P₂O₅ betrieblicher Bilanzüberschuss - Ausbringungsobergrenze für org. Stickstoff tierischer Herkunft: Ackerfläche 170kg N/ha, Grünlandfläche 230 kg N/ha - Gärrest aus installierten BGAs wird wie Nährstoffe tierischer Herkunft angerechnet - Nettoausscheidungsrate der Tiere, keine atmosphärische Deposition 	<p>Rahmenbedingungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Restriktionen Berechnungsmodell „business as usual“ bleiben bestehen“ <p>Erweiterung um:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausbringungsobergrenze wird abgesenkt: 120 kg N/ha AL, 170 kg N/ha GL - für die Ausbringung gelten Flächenrestriktionen in wasserwirtschaftlich sensiblen Bereichen - atmosphärische Deposition wird berücksichtigt

Das Berechnungsmodell „business as usual“ berücksichtigt Beschränkungen, die im Wesentlichen durch die DüV geregelt werden:

Es dürfen auf betrieblicher Ebene 60 kg N/ha und 20 kg P₂O₅/ha mehr aufgebracht werden, als abgeführt werden. Hierfür wird mit Nettoausscheidungsraten bilanziert und die atmosphärische Deposition nicht eingerechnet. Für die Ausbringung von organischem Stickstoff in Wirtschaftsdüngern gelten Ausbringungsobergrenzen. Abweichend zu den 2013 geltenden Rahmenbedingungen der Düngeverordnung werden die für Stickstoff aus tierischen Ausscheidungen geltende Ausbringungsobergrenze von 170 kg N/ha auf alle organischen Düngemittel angewandt, insbesondere auch auf Gärprodukte pflanzlicher Herkunft. Diese Regelung wird ab 2014 erwartet.

Das Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“ berücksichtigt Beschränkungen, die über bestehende Regelungen hinausgehen und in Forderungen von BDEW, VDLUFA, DVGW zu finden sind:

Die erwähnten Beschränkungen aus dem Berechnungsmodell „business as usual“ bleiben bestehen. Die Ausbringungsobergrenze für organischen Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern und Gärprodukten werden abgesenkt und in wasserwirtschaftlich sensiblen Bereichen wird die Ausbringung untersagt (Restriktionsklassen R1 bis R3, vgl. Abschnitt 4.2.2 und 4.2.3). Stickstoffemissionen aus der Atmosphärischen Deposition werden in der Bilanz berücksichtigt.

3.3.2 Rahmenbedingung Gärproduktbilanzierung

Durch den Zubau von Biogasanlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe kommt es zu einer Änderung der bisherigen Nutzung von Ackerflächen. Je nach vorheriger Nutzung der Ackerflächen (z.B. Futtermittelanbau für aufgegebene Milchviehhaltung) ändert sich durch die Gärprodukte aus Biogasanlagen, die pflanzlicher Herkunft sind, die Menge an organischen Nährstoffen in einer Region.

Es wurde ein Tool entwickelt, mit dem die Menge des anfallenden Gärprodukts und den darin enthaltenen Nährstoffen für verschiedene Substratzusammenstellungen (tierischer und pflanzlicher Herkunft) berechnet werden kann. Als Datengrundlage dienen die vom KTBL herausgegebenen Werte des Wirtschaftlichkeitsrechners Biogas. Diese wurden ausgelesen und in einer neuen Tabelle zusammengestellt. Berücksichtigt wurden dabei die Inhaltsstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P_2O_5), Kalium (K_2O), Calcium (CaO), Magnesium (MgO) und Ammoniumstickstoff (NH_4-N). Es kann aus 30 verschiedenen pflanzlichen NawaRo-Produkten, fünf Wirtschaftsdüngern und 23 sonstigen Substraten, wie z.B. Apfeltrester und verschiedenen Getreiderestprodukten ausgewählt werden.

3.3.3 Berechnungsmodell „business as usual“

3.3.3.1 Methodik

Die Berechnung des Biomethanpotenzials beruht auf der Substitutionsmöglichkeit von Mineraldünger durch Gärprodukte sowie der Ausschöpfung der Bilanzüberschüsse nach §6 der Düngeverordnung. Bei dem Berechnungsmodell der aktuellen Situation werden zunächst über zwei Schienen Stickstoff- und Phosphorbilanzen aufgestellt, die zum Schluss über das Minimumprinzip vereint werden. In einem Gesamtmodell wird dann das Biomethanpotenzial möglicher Biogasanlagen errechnet (Abbildung 10). Berechnet wird demnach die Menge an Gärprodukten, die in einem Landkreis ausgebracht werden kann ohne gegen die Regelungen zum max. Bilanzüberschuss gemäß Düngeverordnung zu verstoßen. Die Menge und der Stickstoffgehalt des Gärproduktes sind dabei von den Eigenschaften der für die Biogasnutzung angebauten Feldfrucht abhängig. Die Bilanzierung wurde daher für Silomais und für einen Fruchtmix durchgeführt.

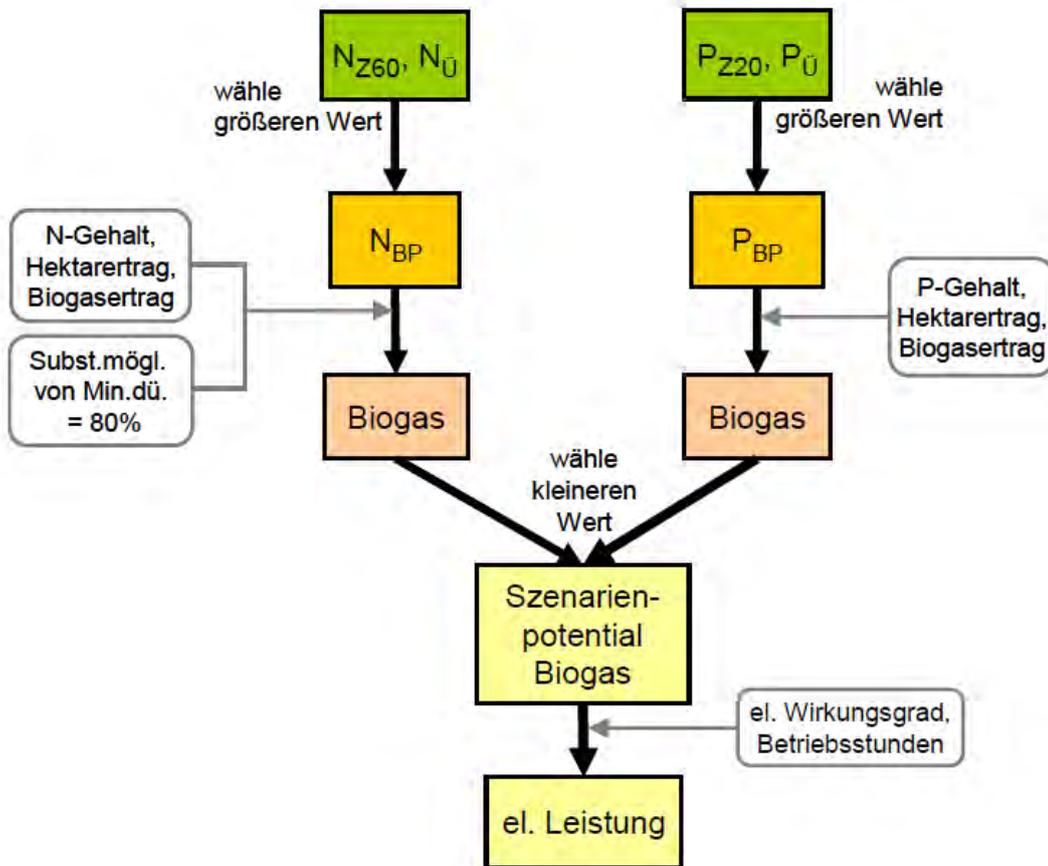


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Berechnungsmodells

Potenzialberechnung für Stickstoff:

Zur Bilanzierung und Berechnung des Potenzials müssen die drei folgenden Werte nacheinander ermittelt werden:

- N_U : N-Überhangbewertung aus organischen Düngemittel (Wirtschaftsdünger, Gärprodukt) [kg N/ha], bezogen auf die Gesamtfläche
- N_{Z60} : maximale, zusätzliche N-Ausbringung in kg N/ha, um Grenzwert 60 kg N/ha Bilanzüberschuss nach DüV einzuhalten
- N_{BP} : Bilanzpotenzial für Biogas über die Stickstoffbilanz [kg N/ha]

N_U ist die Differenz aus organischen Düngemitteln, die ausgebracht werden müssen und der leguminösen N-Bindung abzüglich dem Nährstoffbedarf der Pflanze. N_U wird folgendermaßen berechnet:

$$N_U \text{ [kgN/ha]} = (\text{anrechenbarer N-Dünger} - \text{N-Bedarf der Pflanzen}) / \text{Gesamtfläche}$$

Im Detail ergibt sich N_U wie folgt:

$$N_U \text{ [kgN/ha]} = (\text{Organischer Dünger aus eigener Tierhaltung} + \text{N-Bindung aus Leguminosen} - \text{Nährstoffabfuhr von den Flächen} - \text{Ausbringverluste}) / \text{Gesamtfläche}$$

Dies entspricht der Differenz der Zu- und Abfuhr je ha [kg N/ha]. Addiert man zu $N_{\text{Ü}}$ die Aufnahme eigener Gärprodukte aus bestehenden Biogasanlagen [kg N/ha], erhält man eine Zwischenbilanz, die mit N_{Z} gekennzeichnet wird. Diese ergibt sich aus der folgenden Formel:

$$\text{Aufnahme N-Gehalt eigener Gärprodukte} = \text{elektrische Leistung bestehender BGAs} / \text{kW}_{\text{el}} * x \text{ ha}_{\text{Feldfrucht}} / \text{kW}_{\text{el}} * x t_{\text{Feldfrucht}} / \text{ha} * x \text{ kg N} / t_{\text{Feldfrucht}} * 0,82 * 0,7$$

Die 0,82 stehen für 18 Mass.-% Ausbringungsverluste der Gärprodukte; die 0,7 stehen für einen 30%igen Sicherheitsfaktor, bei dem weitere Verluste und die Mineralisation einberechnet werden; $x \text{ ha} / \text{kW}_{\text{el}}$ und $x t_{\text{Feldfrucht}} / \text{ha}$ werden landkreis-spezifisch berechnet. Die $x \text{ kg N} / t_{\text{Feldfrucht}}$ werden dem, auf den LWK-Daten basierenden, Gärproduktrechner entnommen. N_{Z60} ergibt sich dann aus der Differenz des Grenzwertes für den Stickstoffüberschuss von 60 kg N/ha (§6 der Düngeverordnung) und N_{Z} .

Mit N_{BP} wird genau die Menge Biomethan berechnet, bei der der N-Gehalt in den Gärprodukten dem N-Bilanzwert entspricht:

$$\text{Biomethan} / \text{Nm}^3 = N_{\text{BP}} [\text{kg N/ha}] * \text{Gesamtfläche} [\text{ha}] / x \text{ kgN} / t_{\text{Feldfrucht}} * x \text{ Nm}^3 / t_{\text{Feldfrucht}} * 0,8$$

Dabei entspricht die 0,8 einer 80%igen Substitutionsmöglichkeit von Mineraldünger durch Gärprodukte.

Phosphat:

Hiernach erfolgt die Berechnung der Phosphatbilanz, die vom Prinzip her analog zur vorgestellten Methodik von Stickstoff durchgeführt wird. Allerdings sind beim Phosphat weniger Faktoren zu berücksichtigen, was die Berechnung etwas einfacher gestaltet. So sind Auswaschungsgefahr und Ausgasungen beim Phosphat unbedeutend.

Für die Berechnung müssen die folgenden Werte ermittelt werden:

$P_{\text{Ü}}$: P-Überhangbewertung [kg P_2O_5 /ha], bezogen auf die Gesamtfläche

P_{Z20} : maximale, zusätzliche P-Ausbringung in kg P_2O_5 /ha, um Grenzwert 20 kg P/ha Bilanzüberschuss nach DüV einzuhalten

P_{BP} : Bilanzpotenzial für Biogas über die Phosphatbilanz [kg P_2O_5 /ha]

Dabei ergibt sich P_{Z20} aus der Differenz des Grenzwertes von 20 kg P_2O_5 /(ha*a) als Mittel für die Jahre 2009 bis 2011 und P_{Z} . Dabei stellt P_{Z} den Zwischenbilanzsaldo dar und ergibt sich aus den Zu- und Abfuhr bezogen auf die Gesamtfläche addiert mit dem P-Anfall bereits bestehender Biogasanlagen:

$$\begin{aligned} &\text{Organischer Dünger aus eigener tierischer Haltung} - \text{Nährstoffabfuhr der Flächen} = \text{Differenz der Zu- und Abfuhr je Hektar} / \text{kg } \text{P}_2\text{O}_5 / \text{ha} \\ &+ \text{Aufnahme eigener Gärprodukte aus bestehenden Biogasanlagen} / \text{kg } \text{P}_2\text{O}_5 / \text{ha} = P_{\text{Z}} \end{aligned}$$

Auch hierbei gilt:

$$\text{Aufnahme P-Gehalt eigener Gärprodukte} = \text{elektrische Leistung bestehender BGAs} / \text{kW}_{\text{el}} * x \text{ ha} / \text{kW}_{\text{el}} * x \text{ kg } \text{P}_2\text{O}_5 / \text{ha} / \text{Gesamtfläche} [\text{ha}]$$

Die $x \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}_{\text{Feldfrucht}}$ entstammen dem LWK-Rechner. Dabei wurde der durchschnittliche P_2O_5 -Gehalt der Feldfrucht in die Einheit $\text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}_{\text{Feldfrucht}}$ umgerechnet.

$P_{\text{Ü}}$ lässt sich anhand des LWK-Rechners nicht bestimmen und ist aber auch nicht relevant, da P_2O_5 immer direkt pflanzenverfügbar ist. $P_{\text{Ü}}$ würde der Differenz Phosphat-Dünger – Phosphat-Pflanzenbedarf entsprechen. Somit ergibt sich das Bilanzpotenzial für Phosphat aus dem P_{Z20} .

$$P_{\text{BP}} / \text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha} = P_{\text{Z20}} / \text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

Über das P_{BP} lässt sich dann die Biogasmenge errechnen:

$$\text{Biomethan} / \text{Nm}^3 = P_{\text{BP}} / \text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha} * \text{Gesamtfläche [ha]} / x \text{ kgP}_2\text{O}_5 / t_{\text{Feldfrucht}} * x t_{\text{Feldfrucht}}/\text{ha} * x \text{ Nm}^3/t_{\text{Feldfrucht}}$$

Der Faktor 0,8 entfällt hier, da Phosphat in pflanzendirektverfügbarer Form vorliegt und somit zu 100% eine Substitutionsmöglichkeit von Mineraldünger durch Gärprodukte in die Berechnung eingehen kann.

Nun sind die Biomethanmengen über Stickstoff und Phosphat berechnet worden. Für die weitere Vorgehensweise des Szenarienpotenzials ist der kleinere Wert der beiden auszuwählen.

3.3.3.2 Ergebnisse Berechnungsmodell „business as usual“

Das Biomethanpotenzial des Berechnungsmodells „business as usual“ basierend auf einem 100%igem Silomaiseinsatz liegt insgesamt bei 35 Mrd. Nm^3 Biomethan pro Jahr und verteilt sich auf die einzelnen Bundesländer wie in Tabelle 10 dargestellt.

Zur Realisierung dieses Potenzials wäre eine Fläche von 7 Mio. ha Silomais notwendig. Dieses Potenzial entspricht einem fiktiven Höchstwert auf Basis der maximalen Ausschöpfung der Nährstoffsalden von 60 kg N/ha bzw. 20 kg P/ha gemäß Düngeverordnung. Es ist in dieser Höhe nicht erschließbar, da andere Restriktionen der Realisierung entgegenstehen.

Diese Ergebnisse basieren auf der Bilanzierung mit Silomais als Substratinput. Werden andere Substrate bilanziert, so führt dies aufgrund eines geringeren Hektarertrags dazu, dass die Potenzialfläche größer wird. Durch den geringeren Hektarertrag in Kombination mit zumeist höheren Stickstoffgehalten pro Tonne Substrat nimmt das erzielbare Biomethanpotenzial jedoch ab. Die größere Potenzialfläche führt demnach nicht zu höheren Potenzialen wenn andere Substrate als Silomais genutzt werden. Daher wird mit Silomais als Substrat für die Bilanzierung ein maximal erzielbares Biomethanpotenzial bei gleichzeitig der geringsten Flächeninanspruchnahme ausgewiesen.

Tabelle 10: Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) Berechnungsmodell „business as usual“

Bundesland	Biomethan [Mio. Nm³]	Genutzte Maisfläche [ha]
Baden-Württemberg	3.000	542.000
Bayern	6.000	997.000
Berlin	< 1.000	2.000
Brandenburg	3.000	817.000
Bremen	< 1.000	2.000
Hamburg	< 1.000	6.000
Hessen	2.000	358.000
Mecklenburg-Vorpommern	4.000	861.000
Niedersachsen	4.000	741.000
Nordrhein-Westfalen	2.000	410.000
Rheinland-Pfalz	2.000	319.000
Saarland	< 1.000	37.000
Sachsen	2.000	524.000
Sachsen-Anhalt	3.000	662.000
Schleswig-Holstein	1.000	341.000
Thüringen	2.000	420.000

Abbildung 11 zeigt die Verteilung des Gesamtpotenzials auf Landkreisebene. In Abbildung 12 ist das erzielbare Biomethanpotenzial pro Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche der Landkreise dargestellt.

Biomethanpotenzial - Szenario aktuelle Situation - Mio. Nm³ CH₄/a

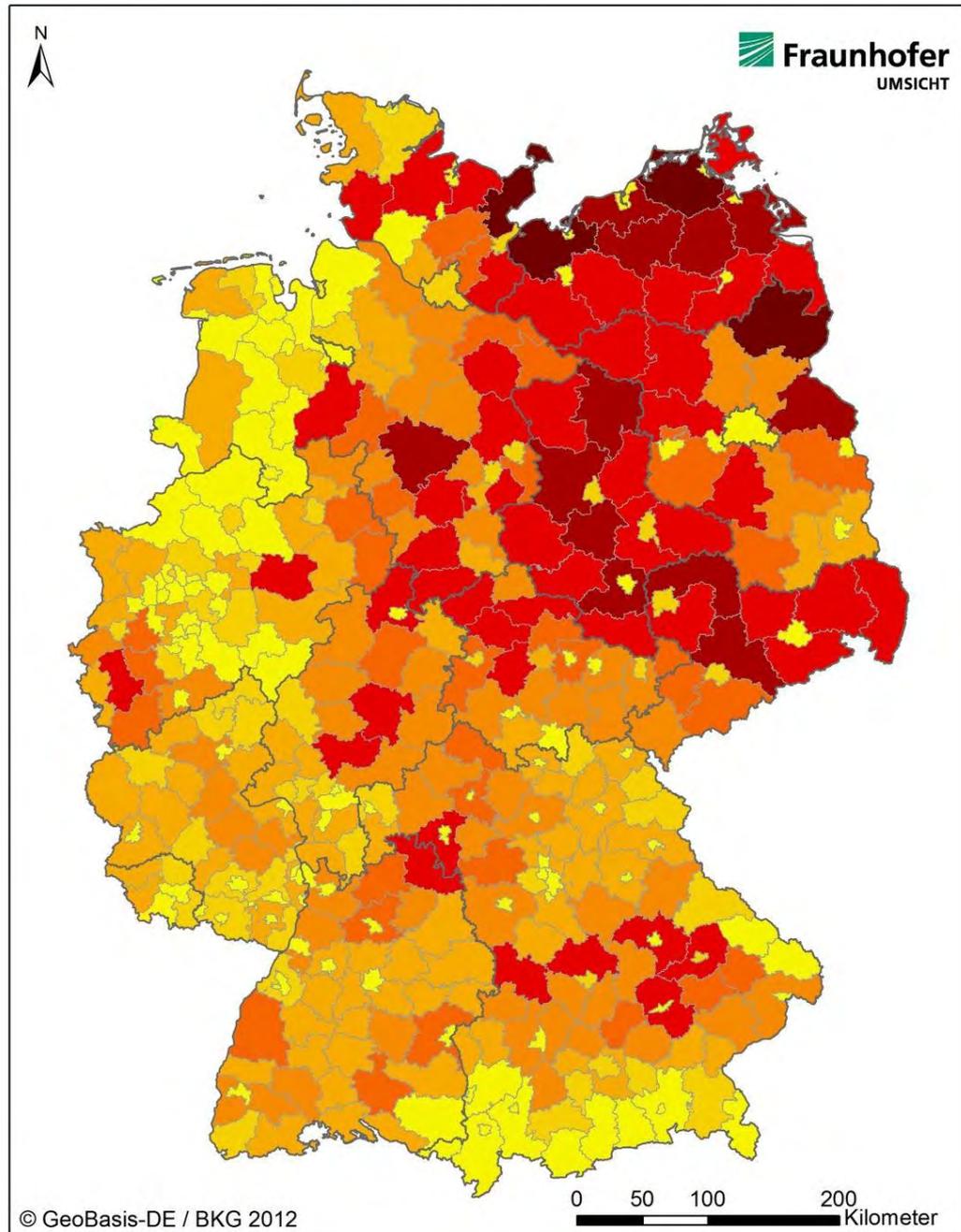


Abbildung 11: Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) pro Landkreis in Mio. Nm³/a, Berechnungsmodell „business as usual“ unter Annahme von Silomais als alleiniges pflanzliches Substrat

Biomethanpotenzial - Szenario aktuelle Situation - Nm³ CH₄/ha*a

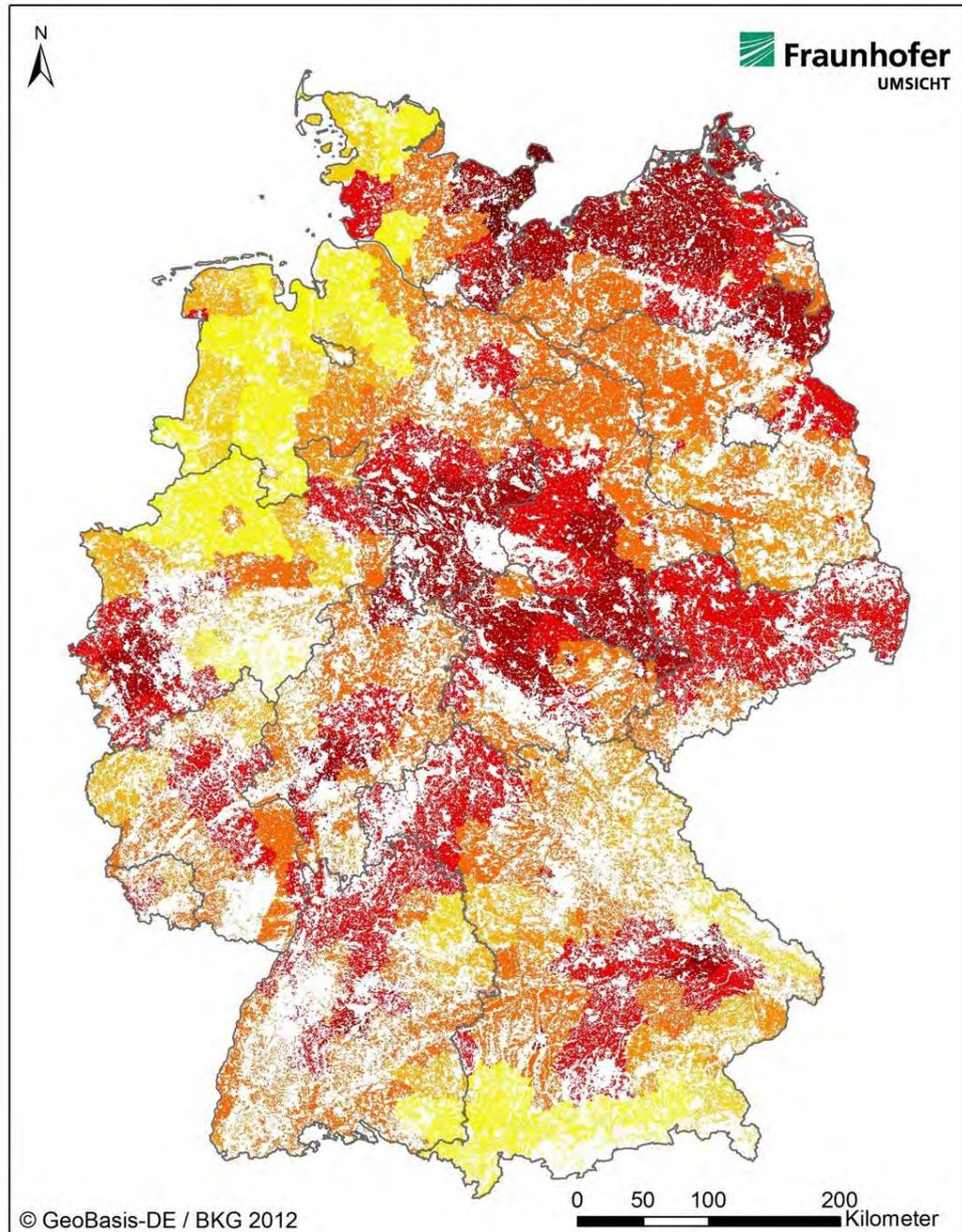


Abbildung 12: Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) pro Landkreis in Nm³/ha dargestellt für die landwirtschaftlich genutzte Flächen, Berechnungsmodell „business as usual“ unter Annahme von Silomais als alleiniges pflanzliches Substrat

3.3.4 Berechnungsmodell Nachhaltige Entwicklung

Wie in Kapitel 4 ausführlicher dargestellt, besteht aus wasserwirtschaftlicher Sichtweise in Deutschland kein Potenzial mehr, zusätzlichen Stickstoff im Sicker- und Grundwasser zu tolerieren um Vorgaben aus der europäischen Wasserrahmenrichtlinie und der Trinkwasserverordnung zu erfüllen. Daher bestehen für die Ausweitung der Biogasnutzung nur noch Flächenpotenziale, wenn die im Gärprodukt enthaltenen Nährstoffe Mineraldünger in hohem Maße substituieren und die Ausbringung von organischen Stickstoffverbindungen stärker begrenzt wird als es nach geltender Düngeverordnung geregelt ist.

3.3.4.1 Methodik

Die Stickstoffbilanz wird analog zur bereits vorgestellt Methodik für die konventionelle Landwirtschaft (s Kapitel 3.3.3) erstellt. Für die Ausbringung von organischem Stickstoff (tierischer und pflanzlicher Herkunft) wird jedoch eine Grenze von 120 kg N/ha auf Ackerland und 170 kg $N_{\text{org/ha}}$ auf Grünland gesetzt. Die Differenz zu diesem Grenzwert und dem bereits zur Düngung im Landkreis verwendeten Wirtschaftsdünger aus der Viehhaltung stellt das N_{org} -Potenzial für die Ausbringung weiterer Gärprodukte dar. Es ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht vertretbar, dass die Landwirte bis zu 120 kg $N_{\text{org/ha}}$ (DVGW-Information Nr. 73, S. 48) auf Ackerland ausbringen.

Die Ausbringung der Gärprodukte ist in diesem Berechnungsmodell nicht auf allen landwirtschaftlichen Flächen erlaubt. So werden drei Bereiche für die Gärproduktausbringung ausgeschlossen:

- R1: Schutzzone I, Gewässerrandstreifen, Naturschutzgebiete, Nationalparks, Biosphärenreservate (Kern- und Pflegezonen)
- R2: Schutzzone II von Grundwasser- und Heilquellenschutzgebieten, Einzugsgebiete von Trinkwasserfassungen ohne WSG
- R3: Schutzzone III von Oberflächenwasserschutzgebieten (Talsperren- und Flusswasserschutzgebieten); mit Ausnahmemöglichkeit

Das Potenzial im Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“ wird mithilfe folgender Faktoren berechnet:

N_{org}	=	kg/ha, Grenzwerte für gesamt-organischen Stickstoffdünger
N_{Tier}	=	kg N/ha, Stickstoff (Wirtschaftsdünger) aus der Tierhaltung
N_{Bio}	=	kg N/ha, Stickstoff (Gärprodukt) von vorhandenen Biogasanlagen
LF	=	ha, Landwirtschaftliche Fläche
WW	=	ha, Fläche nicht zur Ausbringung von Gärprodukten geeignet
B_{Gas}	=	$\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{FM}}$ Biogasertrag des Biogassubstrats

$$B_{\%} = \% \text{ Methangehalt Biogas}$$

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren ergibt sich zusammengefasst folgende Formel.

$$\text{Pot}_{\text{Sub}} = (\text{N}_{\text{org}} - \text{N}_{\text{Tier}} - \text{N}_{\text{Bio}}) * (\text{LF} - \text{WW}) * 1 / \text{N}_{\text{Düng}} * \text{B}_{\text{Gas}} * \text{B}_{\%}$$

Die Faktoren können weiter zusammengefasst werden:

N_{S} = kg N/ha, $\text{N}_{\text{org}} - \text{N}_{\text{Tier}} - \text{N}_{\text{Bio}}$, Stickstoffsaldo, das noch durch organischen Stickstoff aus Gärprodukten ausgefüllt werden kann

LF_{WW} = ha, LF - WW, Fläche die zur Ausbringung von Gärprodukten geeignet ist

$\text{N}_{\text{Düng}}$ = kg N/t, Düngebedarf des Biogassubstrats

B_{Methan} = $\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{FM}}$ Biomethanertrag des Biogassubstrats

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren ergibt sich zusammengefasst folgende Formel.

$$\text{Pot}_{\text{Sub}} = \text{N}_{\text{S}} * \text{LF}_{\text{WW}} / \text{N}_{\text{Düng}} * \text{B}_{\text{Methan}}$$

3.3.4.2 Ergebnisse Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“

Das Biomethanpotenzial im Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“ liegt insgesamt bei 15,9 Mrd. Nm^3 Biomethan pro Jahr und verteilt sich auf die einzelnen Bundesländer wie in Tabelle 11 dargestellt. Zur Realisierung dieses Potenzi- als wäre eine Fläche von 3,3 Mio. ha Silomais notwendig.

Wie im Berechnungsmodell „business as usual“ gilt, dass diese Ergebnisse auf der Bilanzierung mit Silomais als Substratinput basieren und bei der Bilanzierung mit anderen Substraten die Potenzialfläche größer wird, durch den geringeren Hektarertrag in Kombination mit zumeist höheren Stickstoffgehalten pro Tonne Substrat das erzielbare Biomethanpotenzial jedoch abnimmt.

Tabelle 11: Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“

Bundesland	Biomethan Mio. Nm³	Genutzte Maisfläche ha
Baden-Württemberg	1.000	289.000
Bayern	2.000	330.000
Berlin	< 1.000	1.000
Brandenburg	2.000	455.000
Bremen	< 1.000	2.000
Hamburg	< 1.000	6.000
Hessen	1.000	186.000
Mecklenburg-Vorpommern	2.000	431.000
Niedersachsen	2.000	295.000
Nordrhein-Westfalen	1.000	147.000
Rheinland-Pfalz	1.000	210.000
Saarland	< 1.000	26.000
Sachsen	1.000	260.000
Sachsen-Anhalt	2.000	324.000
Schleswig-Holstein	< 1.000	117.000
Thüringen	1.000	210.000

Biomethanpotenzial - Szenario nachhaltige Entwicklung - Mio. Nm³ CH₄/a

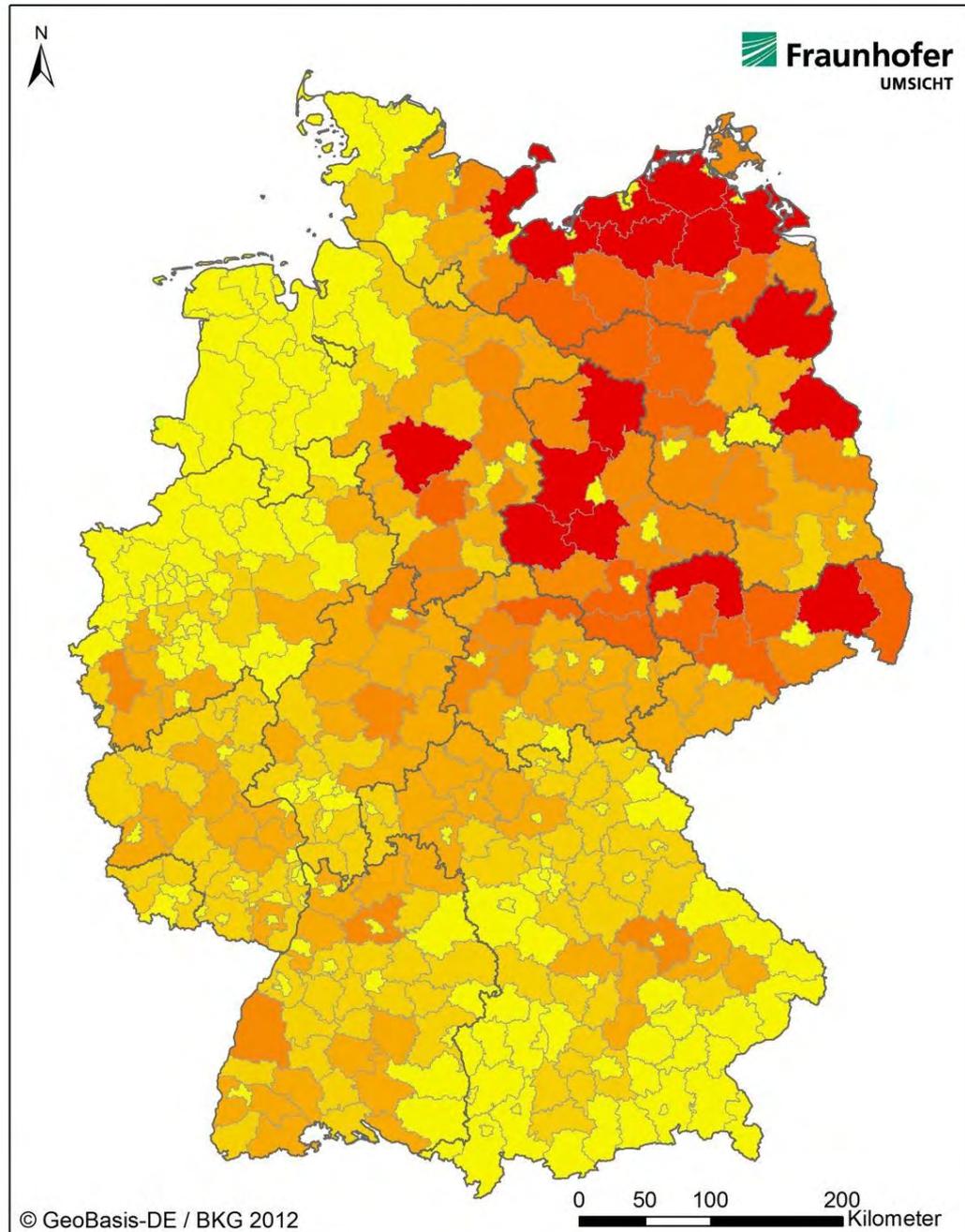


Abbildung 13: Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) pro Landkreis in Mio. Nm³/a, Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“

Biomethanpotenzial - Szenario nachhaltige Entwicklung - Nm³ CH₄/ha*a

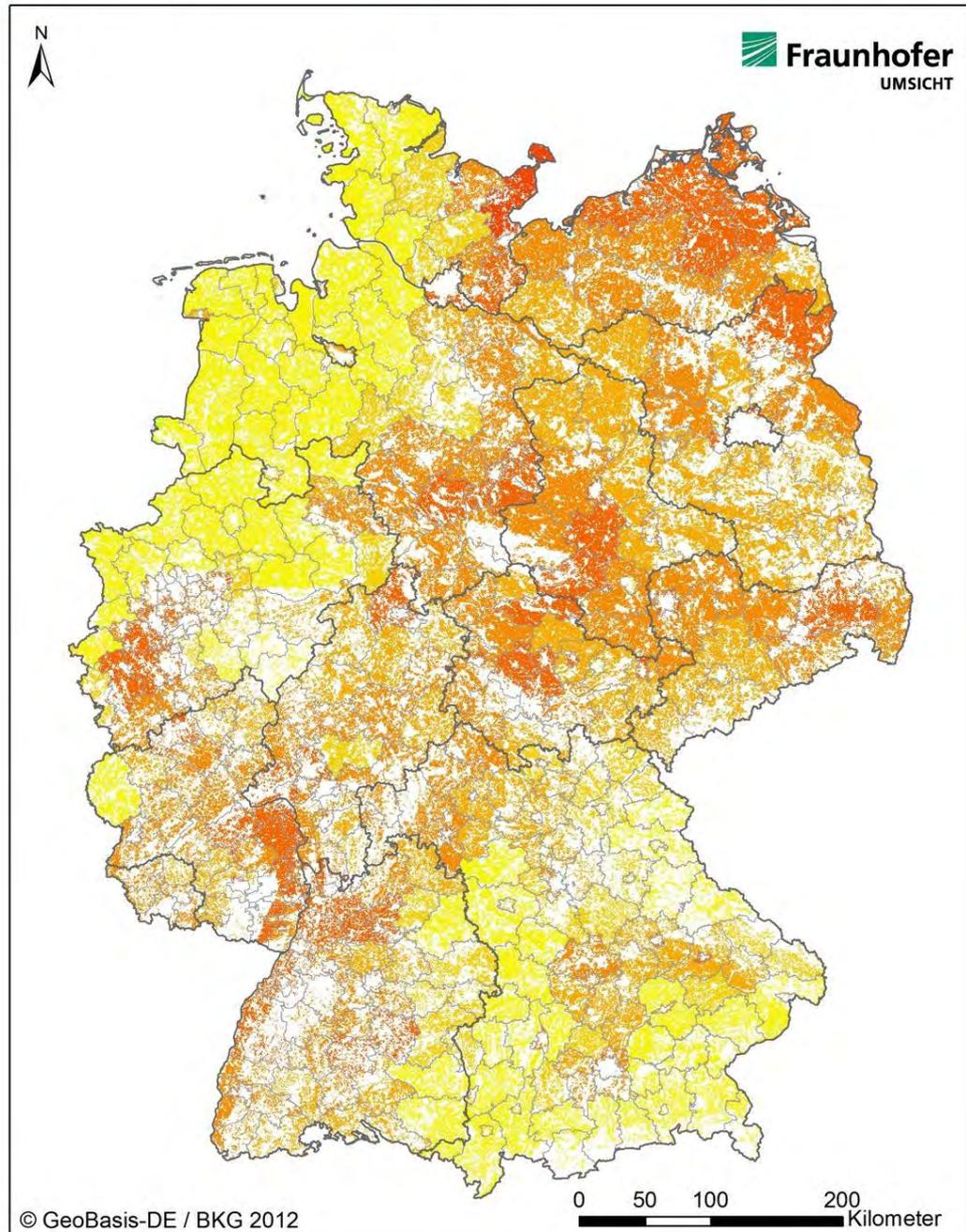


Abbildung 14: Biomethanpotenzial (Vorstufenpotenzial der Nährstoffbilanzierung) in Nm³/ha landwirtschaftliche Nutzflächen, Berechnungsmodell „Nachhaltige Entwicklung“

4 Wasserwirtschaftliche Grundlagen

4.1 Vorgehensweise bei der Erfassung und Zusammenstellung der Geobasisdaten im GIS

4.1.1 Übersicht

Ein Teil der in Kapitel 3.1.2 aufgeführten Gesetze und Verordnungen hat aufgrund der wasserwirtschaftlichen und der naturschutzfachlichen Bedeutung zur Ausweisung von konkreten Schutzgebieten geführt. Um derartige Gebiete, die aus wasserwirtschaftlicher und aus Naturschutzsicht besonderer Beachtung bedürfen, von möglichen zukünftigen Schwerpunktgebieten für den Anbau von Energiepflanzen für die Biogasproduktion abzugrenzen, wurden die Geobasisdaten von wasserwirtschaftlich bedeutenden Gebieten (z. B. Wasserschutzgebiete, Wassergewinnungsgebiete, Überschwemmungsgebiete, gefährdete Grundwasserkörper) und Gebieten, die aus Naturschutzsicht bedeutend sind, bundesweit von den entsprechenden Dienststellen angefordert und in einem geografischen Informationssystem (GIS) zusammengestellt.

Die Datenanforderung erfolgte im Zeitraum Mitte Mai 2011 bis Mitte Oktober 2012. Die gelieferten Geobasisdaten haben i. d. R. einen Bearbeitungsstand zwischen 2008 und 2012, meist 2011 oder 2012.

Die Art der Datenbereitstellung durch die Bundesländer und Dienststellen sowie die Kosten für den Datenbezug waren sehr unterschiedlich. Bei einigen Bundesländern konnten Geobasisdaten direkt im Internet heruntergeladen werden, bei anderen Bundesländern wurden die Daten nach Anfrage kostenlos zur Verfügung gestellt, für einige Datensätze wären jedoch sehr hohe Kosten bis zu mehreren tausend Euro (abhängig vom jeweiligen Bundesland) fällig geworden, was im Projekt nicht vorgesehen war. Diese Datensätze konnten im Rahmen des vorliegenden Projektes daher nicht bezogen werden. Oft sind die Daten zwar über wms-Server einsehbar, dies reichte aber für die Projektbearbeitung keinesfalls aus, da die Daten weiterverarbeitet werden mussten.

4.1.2 Vereinheitlichung des Koordinatensystems

Sämtliche Eingangsdaten wurden sofort nach Dateneingang und vor der Weiterverarbeitung – wie mit den Projektpartnern im Februar 2011 vereinbart – einheitlich in das Koordinatensystem UTM (Universale-Transversale-Mercator-Projektion) Zone 32 bezogen auf das europäische Datum ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) (Bezeichnung in ArcGIS: ETRS_1989_UTM_Zone_32N) transformiert, um den Datenaustausch untereinander zu erleichtern. Danach wurden die Daten für die weitere Bearbeitung im GIS zusammengeführt.

Bei dieser Transformation ist zu berücksichtigen, dass die östlichsten Bundesländer ganz oder teilweise in UTM-Zone 33 liegen, daher ergibt sich bei absoluten Flächenberechnungen ein geringer Fehler, der mit der Entfernung von UTM-Zone 32 zunimmt. Beispielsweise liegt das Bundesland Sachsen fast vollständig in UTM-Zone 33. Berechnet man die Gesamt-Landesfläche in dieser Zone, erhält man 1.844.286 ha. In UTM-Zone 32 ergeben sich 1.847.873 ha. Damit ist die Gesamt-Landesfläche in UTM-Zone 32 etwa 3.587 ha oder 0,2 % größer als in UTM-Zone 33.

4.1.3 Datenbasis und Vorgehensweise bei der Erstellung deutschlandweiter WSG-Karten im GIS

4.1.3.1 Datenbasis

Basis für die vorliegenden Auswertungen zu den Wasserschutzgebieten war die Geobasisdatenlieferung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vom 11.05.2011 mit Lieferung eines deutschlandweiten WSG-Shapefiles („WSG_D“). Darin zusammengefasst sind Datenlieferungen der Fachbehörden der Bundesländer an das BfG aus den Jahren 2008 bis 2011.

In der BfG-Datenlieferung waren für neun Bundesländer zusätzlich zur WSG-Geometrie auch die jeweiligen Schutzzoneneinteilungen aufgeführt.

Für die sieben Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Berlin, Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern waren keine Zoneneinteilungen enthalten, sondern nur die Geometrie der Wasserschutzgebiete insgesamt (Umrisse). Die fehlenden Daten wurden daher bei den entsprechenden Bundesländern angefordert. Als nächster Schritt wurden alle Wasserschutzgebiete in Bundesländern ohne Schutzzoneneinteilung im bundesweiten Shapefile „WSG_D“ gelöscht und durch die genaueren Daten mit Zoneneinteilung der aktuellen Datenlieferungen der entsprechenden Bundesländer ersetzt.

Die von den Bundesländern verwendeten Abkürzungen für die einzelnen Schutzzonenbereiche sind bundesweit nicht einheitlich. Hier existieren etwa 150 verschiedene Kürzel für die unterschiedlichen Schutzzonenbereiche der einzelnen Schutzgebiete, weshalb es erforderlich war, eine Vereinheitlichung der Schutzzonenbezeichnungen vorzunehmen.

4.1.3.2 Unterscheidung der Schutzgebietsart nach Grundwasser-, Heilwasser- und Oberflächenwasserschutzgebieten

Heilquellenschutzgebieten

Bei Heilquellenschutzgebieten wurde nach qualitativen und quantitativen Schutzgebieten differenziert, wobei wie folgt vorgegangen wurde:

- Entsprechend den Richtlinien für Heilquellenschutzgebiete der LAWA [LAWA 1998] soll „der quantitative Schutz gewährleisten, dass das hydraulische System nicht beeinträchtigt und somit die Schüttung oder Ergiebigkeit nicht gemindert wird“. „In den quantitativen Zonen A und B sind Einschränkungen einer landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gärtnerischen Nutzung nicht erforderlich.

Da ein Schutz der Wasserqualität im Einzugsgebiet allein durch die zusätzlich ausgewiesenen „qualitativen Heilquellenschutzgebiete“ sichergestellt wird (Schutzzonen I bis III) wurden für die weiteren Betrachtungen die quantitativen Heilquellenschutzgebiete (Zonen A und B) zunächst identifiziert und danach ausgeschlossen.

Talsperrenschutzgebiete

Für die weitere Projektbearbeitung war es zudem erforderlich, die Talsperrenschutzgebiete von den Wasserschutzgebieten zu separieren. Diese Schutzgebiete sind zwar in der deutschlandweiten Übersicht über die Wasserschutzgebiete integriert, sie können jedoch beim BfG nicht gefiltert werden. Daher wurden eigene Recherchen betrieben, um die entsprechenden Wasserschutzgebiete separieren zu können, es erfolgte:

- ein Abgleich mit der Mitgliederliste des ATT (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V.) und Nachfrage beim ATT mit ergänzenden Hinweisen
- Ergänzungen durch TZW-interne Recherchen zu einzelnen Talsperrenschutzgebieten
- weitere Recherchen und Abfragen

4.1.4 Datenbasis und Dokumentation der Erstellung einer deutschlandweiten Gewässerrandstreifen-Karte

Datenbasis für die Erfassung der Gewässer und die Erstellung einer deutschlandweiten Gewässerrandstreifen-Karte im GIS war die Datenlieferung des BKG vom 23.11.2011 mit den deutschlandweiten Gewässerachsen-Polylinien (kleinere Flüsse und Bäche) und Gewässer-Polygone (größere Flüsse und Seen) auf Basis des Gewässer-Datenbestandes aus dem DLM 250 (DLM 250 = Digitales Landschaftsmodell im Maßstab 1:250.000).

Die Vorgehensweise war ähnlich wie bei den Wasserschutzgebieten: Bei den von den Bundesländern gelieferten Datensätzen wurde zunächst überprüft, ob diese weitere oder genauere Informationen lieferten als der bundesweite Datensatz. Trat dieser Fall auf, wurden die Gewässerdaten des entsprechenden Bundeslandes aus dem bundesweiten Shapefile ausgeschnitten und durch die genaueren Daten des jeweiligen Bundeslandes ersetzt.

Für sämtliche Gewässer (Flüsse, Bäche, Seen) wurde für die weiteren Berechnungen bundesweit ein 10 m breiter Gewässerrandstreifen festgelegt, für den eine

gewässerschützende Bewirtschaftung gefordert wird, sofern dieser auf Ackerflächen liegt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Die als Linienobjekte vorliegenden Gewässer im Shapefile (Gewässerabschnitte) haben als Attribut die Breite des Gewässers. Damit wurde über die Puffer-Funktion ($\text{Puffer} = \text{Breite des Gewässers} * 0,5$) zunächst ein Polygon-Shapefile für die Gewässerbreite erzeugt. Anschließend wurde dieses Polygon beidseitig mit je einem 10 m breiten Gewässerrandstreifen versehen.
- Den als Polygone vorliegenden Gewässern wurde direkt ein 10 m Puffer hinzugefügt.

Die so ermittelten Gewässerrandstreifen wurden mit den Ackerflächen verschnitten und von den resultierenden Flächen die Summen berechnet.

Im Vergleich zu den vorliegenden Ackerflächen aus dem Basis DLM (= Digitales Basis Landschaftsmodell) entstammt der Gewässerverlauf dem DLM 250. Hieraus ergeben sich gewisse Ungenauigkeiten bzgl. der exakten Lage und den späteren Berechnungen der Größe der Überschneidungsflächen. Zudem ist auch von Ungenauigkeiten bei den Angaben zur Gewässerbreite auszugehen. Aber auch die Grenzen der Ackerflächen weisen geringe Ungenauigkeiten auf, die jedoch nicht näher abgeschätzt werden können.

Als weitere mögliche Fehlerquelle ist zu nennen, dass in den Datenlieferungen der Bundesländer teilweise keine Angaben zu den Gewässerbreiten vorlagen. In diesen Fällen wurden die Gewässerrandstreifenpolygone direkt an die Gewässerachse angeschlossen. In diesen Fällen (insbesondere bei breiten Flüssen) ist es daher möglich, dass die angrenzenden Ackerflächen nicht vollständig von den 10 m breiten Gewässerrandstreifen erfasst wurden.

Auf Basis der verwendeten Daten und der Vorgehensweise resultiert eine deutschlandweite Gesamtfläche der Ackerflächen auf Gewässerrandstreifen von rd. 122.000 ha. Im Vergleich zu den ca. 12,9 Mio. ha Gesamtackerfläche ist dies nur ein geringer Anteil.

4.1.5 Erfassung der gefährdeten Grundwasserkörper

Datenbasis für die Erfassung der hinsichtlich Nitrat gefährdeten Grundwasserkörper sowie der Grundwasserkörper mit „Zielerreichung heute“ war die Datenlieferung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG, „Wasser-Blick/BfG, 22.03.2010“) vom 11.10.2012 (vgl. Abschnitt 4.2.2). Hier wurde lediglich den hinsichtlich Nitrat gefährdeten Grundwasserkörpern mit der Einstufung „Zielerreichung heute“ (der guter Zustand ist hinsichtlich Nitrat erreicht) die Bewertung „guter Zustand“ (vgl. Abschn. 2.1.2.1: Nitrat < 50 mg/L, kein signifikant ansteigender Trend sowie Abbildung 17) zugewiesen, d.h. sie wurden für die weiteren Auswertungen nicht weiter berücksichtigt.

4.1.6 Erfassung der Schutzgebiete aus Naturschutzsicht

Datenbasis für die Erfassung der Schutzgebiete aus Naturschutzsicht war die Lieferung des BfN vom 20.07.2011, die bundesweite Datensätze zu den Schutzgebietskategorien: Naturschutzgebiete, Nationalparke, Biosphärenreservate, Naturparke, Landschaftsschutzgebiete, FFH-Gebiete sowie Ramsar- und Vogelschutzgebiete beinhaltet. Am 03.05. und 18.06.2012 wurden vom BfN Updates zu einzelnen Schutzgebietskategorien zur Verfügung gestellt. Für die Biosphärenreservate lagen auch die Zoneneinteilungen in Kern-, Pflege- und Entwicklungszonen vor, sodass diese Daten direkt weiterverarbeitet werden konnten.

4.1.7 Weitere wasserwirtschaftlich relevante Gebiete

4.1.7.1 Vorranggebiete für Trinkwasser und Vorbehaltsgebiete für den Grundwasserschutz

Vorranggebiete für Trinkwasser / Vorbehaltsgebiete für den Grundwasserschutz, die im Interesse der Sicherung der künftigen Wasserversorgung raumordnerisch ausgewiesen sind: Daten zu diesen Gebieten lagen deutschlandweit nur lückenhaft vor, da keine deutschlandweiten flächenhaften Daten verfügbar sind und in den meisten Bundesländern die Daten nur auf Kreisebene erhältlich sind.

4.1.7.2 Überschwemmungsgebiete

Daten zu diesen Gebieten lagen deutschlandweit mit wenigen Lücken vor, da sie größtenteils kostenfrei zur Verfügung gestellt wurden. In einigen wenigen Bundesländern wäre die Datenbestellung mit hohen Kosten verbunden gewesen. In diesen Fällen konnten die Überschwemmungsgebiete für die Berechnungen nicht berücksichtigt werden.

Bei einer Bestellung deutschlandweiter Daten beim BKG hat sich gezeigt, dass dort lediglich Daten zu den Überschwemmungsgebieten eines Bundeslandes vorlagen.

4.1.7.3 Karstgebiete

Karstgebiete ohne ausreichende Deckschichten und Randgebiete, die im Karst entwässern, sowie Gebiete mit stark klüftigem, besonders wasserwegsamem Untergrund:

Daten zu diesen Gebieten lagen deutschlandweit nur mit sehr großen Lücken vor. Auch bei den Bundesländern sind nur in wenigen Fällen entsprechende Daten verfügbar.

4.1.8 Ackerflächen

Datenbasis für die Erfassung der Ackerflächen im GIS war die Datenlieferung des BKG vom 16.01.2012 mit der deutschlandweiten Datenlieferung im Digitalen Basis Landschaftsmodell (Basis DLM). Die Daten für elf Bundesländer wurden im neuen Modell („AAA“) geliefert („Landwirtschaftliche Nutzfläche / Ackerland“), die übrigen fünf Bundesländer im bislang vom BKG verwendeten Modell („Vegetation Ackerland“). Die Gesamtackerfläche für Deutschland beträgt auf dieser Datenbasis: 12.873.700 ha. Dies stellt einen Unterschied von rd. 1 Mio. ha zu den Angaben im Statistischen Jahrbuch 2012 des Statistischen Bundesamtes dar [STB 2012] und kann auf die nachfolgend aufgeführten Ursachen zurückgeführt werden:

- Die Gesamtackerfläche aus dem Statistischen Jahrbuch 2012 des Statistischen Bundesamtes [STB 2012] stammt aus den behördlichen Erhebungen Landwirtschaftszählung 2010 bzw. Bodennutzungshaupterhebung 2011. Diese erfassen zum einen nur Landwirtschaftliche Betriebe ab einer bestimmten Erfassungsgrenze, z.B. landwirtschaftlich genutzte Fläche über 5 ha, oder ab einer bestimmten Tierzahl und wurden zum anderen nicht wie das Basis-DLM aus Luftbildern und Topographischen Karten abgeleitet.
- Die Datenerfassung für das Basis-DLM erfolgt beispielsweise in Rheinland-Pfalz auf der Grundlage aktueller Luftbilder (Orthophotos 1 : 5 000) und Katasterunterlagen in Verbindung mit den Ergebnissen örtlicher Felderkundungen sowie aus Informationen des Topographischen Informations-Managements [LVERMGEO 2013] In Sachsen z. B. entspricht der Informationsumfang des Basis-DLM etwa dem der Topographischen Karte 1:25 000. Erfassungsgrundlage waren hier für die Bearbeitung der sogen. 1. Stufe die TK 1:10 000, für die 2. und 3. Stufe digitale Orthophotos [LVERMSN 2013]
- Die Aktualität der Basis-DLM-Daten ist stark ortsabhängig und hat i.d.R. ein Alter von max. 6 Jahren (bis auf wenige Rasterzellen). Die Flächenberechnung wurde deutschlandweit im Koordinatensystem ETRS_1989_UTM_Zone_32N vorgenommen. Je nach Stand der Umstellung auf das neue Modell in den einzelnen Bundesländern wurden außerdem verschiedene Datenquellen verwendet: altes und neues Modell (AAA).
- Dass die behördlichen Erhebungen Landwirtschaftszählung 2010 bzw. Bodennutzungshaupterhebung 2011 geringere Gesamtflächen liefern als kartografische Auswertungen, zeigt sich auch bei der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (Ackerland, Grünland, Dauerkulturen). Sie ist im Statistischen Jahrbuch 2012 auf Basis der genannten Erhebungen mit 16.704.000ha ([STB 2012]; Stand 2010, s. dortiger Abschnitt 19.2.2) um knapp 2 Mio. ha kleiner als auf Basis des amtlichen Liegenschaftskatasters mit 18.693.400 ha ([STB 2012]; Stand 2010, s. dortiger Abschnitt 19.1.1).

4.1.9 Weitere Vorgehensweise

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aufgrund oft fehlender deutschlandweiter Datensätze sehr viel mehr Dienststellen angefragt wurden als ursprünglich geplant. Letztendlich konnten die wesentlichen Daten, welche zur Ermittlung der Gebiete mit den stärksten Restriktionen erforderlich sind - wie z.B. die Wasserschutzgebiete - vollständig und auch die Daten zum Gewässernetz in guter Qualität (teils sehr gut, teils befriedigend) zusammengestellt werden. Bei den anderen Daten sind jedoch teilweise noch größere Lücken vorhanden. Hier wäre sicherlich in einigen Fällen eine bessere Datenbasis wünschenswert gewesen. Zur erreichten Qualität der Daten gibt die nachfolgende Tabelle 12 eine Übersicht:

Tabelle 12: Übersicht über die erreichte Qualität der bundesweiten Datenzusammenstellung der verwendeten Geobasisdaten

Geobasisdaten	Erreichte Qualität bzgl. der bundesweiten Datenzusammenstellung	Bemerkungen
Grundwasserschutzgebiete	sehr gut / vollständig	
Heilquellenschutzgebiete	sehr gut / vollständig	
Talsperrenschutzgebiete	gut bis sehr gut	1)
Flusswasserschutzgebiete	sehr gut / vollständig	
Gewässernetz/Gewässerrandstreifen	gut	2)
Gefährdete Grundwasserkörper (gGWK) nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	sehr gut / vollständig	
Schutzgebiete aus Naturschutzsicht	sehr gut / vollständig	
Überschwemmungsgebiete	gut	
Vorrang-/Vorbehaltsgebiete für Trinkwassergewinnung	große Lücken, keine deutschlandweit flächenhaften Daten	3)
Karstgebiete	sehr große Lücken, keine deutschlandweit flächenhaften Daten	
Ackerflächen	sehr gut / gut	4)

1) vermutlich konnten nicht alle Talsperrenschutzgebiete separiert werden (vgl. Abschnitt 4.1.3.2)

2) unterschiedliche Datenqualitäten, je nach Bundesland, daher Ungenauigkeiten (vgl. Abschnitt 4.1.4)

3) Anfragen sind in vielen Bundesländern auf Kreisebene erforderlich (vgl. Abschnitt 4.1.7.1)

4) Ackerfläche liegt noch nicht vollständig im neuen Modell vor (vgl. Abschnitt 4.1.8)

Die auf dieser Datenbasis erstellten Datensätze mit den Restriktionsflächen R1 bis R6 (vgl. Abschnitt 4.2.2) wurden Mitte November 2012 zur weiteren Berücksichtigung bzw. zum Ausschluss der Restriktionsflächen an UMSICHT geliefert. Auf-

grund der Nachlieferung eines Bundeslandes wurde Anfang Dezember 2012 noch ein Update für die Restriktionsklassen R1 und R4 erstellt und nachgeliefert.

4.2 Restriktionen für die Gärproduktausbringung, den Energiepflanzenanbau und den Biogasanlagenbau

Im Hinblick auf den Energiepflanzenanbau und die Gärproduktausbringung sind die Grundwasser- und Heilquellenschutzgebiete besonders zu beachten. Um die flächenmäßige Relevanz zu erkennen, werden zunächst die deutschlandweiten Gesamtflächen und die Flächenanteile der unterschiedlichen Schutzzonenbereiche bzw. die jeweiligen Ackerflächenanteile in Abschnitt 4.2.1 zusammengestellt.

Um wasserwirtschaftlich und aus Sicht des Naturschutzes bedeutende Gebiete von möglichen zukünftigen Schwerpunktgebieten für den Anbau von Energiepflanzen für die Biogasproduktion abzugrenzen, wurden die Geobasisdaten zu den verschiedenen schützenswerten Bereiche bundesweit in einem geografischen Informationssystem (GIS) zusammengestellt und die darin liegenden Ackerflächen mit den jeweils erforderlichen Restriktionen gekennzeichnet. Die diesbezügliche Vorgehensweise bei der Ermittlung der deutschlandweiten Restriktionsflächen wird in Abschnitt 4.2.2 erläutert.

4.2.1 Gesamtfläche der Grundwasser- und Heilquellenschutzgebiete

Die Fläche der Grundwasser- und Heilquellenschutzgebiete (qualitative Schutzzonen) beträgt in Deutschland auf Basis der für die Auswertungen herangezogenen Geobasisdatenlieferungen insgesamt rd. 4,6 Mio. ha. Davon liegen knapp 0,6 Mio. ha innerhalb der Schutzzonenbereiche I und II, sowie knapp 4,0 Mio. ha innerhalb der Schutzzone III (Tabelle 13). Vorhandene Unterteilungen innerhalb der jeweiligen Schutzzonenbereiche wurden dabei zusammengefasst (z.B. Schutzzonen IIA und IIB oder IIIA und IIIB). Der durchschnittliche Ackerflächenanteil innerhalb der Grundwasser- und Heilquellenschutzgebiete beträgt 32,4 %. Bezogen auf die gesamte Fläche Deutschlands liegen 1,6 % der deutschlandweiten WSG-Fläche innerhalb der Schutzzonenbereiche I und II, sowie weitere 11,2 % innerhalb der Schutzzone III von Grundwasser- und Heilquellenschutzgebieten. Bezogen auf die gesamte Ackerfläche in Deutschland liegen knapp 1,2 % der deutschlandweiten Ackerfläche innerhalb der Schutzzonenbereiche I und II, sowie weitere knapp 10,4 % innerhalb der Schutzzone III von Grundwasser- und Heilquellenschutzgebieten. Die Prozentangaben in den letzten beiden Zeilen sind ähnlich, da der Ackerflächenanteil innerhalb von Wasserschutzgebieten nur geringfügig niedriger ist als im Durchschnitt über alle Ackerflächen.

Tabelle 13: Gesamtfläche der Grundwasser- und Heilquellenschutzgebiete (qualitative Schutzzonen) in Deutschland sowie durchschnittlicher Ackerflächenanteil der WSG's und Anteil der WSG-Fläche an der gesamten Ackerfläche Deutschlands

		Grundwasser-, Heilquellenschutzgebiete		
		Schutzzonen I&II	Schutzzone III	Gesamt
Gesamtfläche GW&HQSG	ha	577.609	3.992.725	4.570.334
Gesamt-Ackerfläche in GW&HQSG	ha	149.007	1.333.157	1.482.164
Ackerflächenanteil	%	25,8	33,4	32,4
WSG-Fläche bezogen auf gesamte Bodenfläche D ¹⁾	%	1,6	11,2	12,8
WSG-Ackerfläche bezogen auf gesamte Ackerfläche D ²⁾	%	1,2	10,4	11,5

¹⁾ Bodenfläche nach Nutzungsarten 2010, aus Stat. Jahrbuch 2012:
35.712.700 ha

²⁾ Ackerfläche D: 12.873.700 ha, Basis: Geodaten BKG 2012, überw. neues (AAA)-Modell, 4 Bundesländer altes Modell

4.2.2 Restriktionen hinsichtlich der Gärproduktausbringung des Energiepflanzenanbaus und des Biogasanlagenbaus

In Abhängigkeit vom jeweils vorliegenden Status des Schutzgebiets bzw. des schützenswerten Bereiches wurden unterschiedliche Restriktionsklassen (R1-R6) gebildet und die entsprechenden Restriktionsflächen ermittelt. Beispielsweise sind alle Gebiete, die aus wasserwirtschaftlicher Sicht nicht für die Gärproduktausbringung geeignet sind (z.B. Gewässerrandstreifen, Schutzzonen I und II von Trinkwasserschutzgebieten) sowie einige Gebiete, für die aus Naturschutzsicht hohe Schutzanforderungen gelten als „Ausschlussgebiete“ gekennzeichnet. Bei weiteren wasserwirtschaftlich bedeutenden Gebieten (z. B. Wasserschutzgebiete Schutzzone III) betreffen die Restriktionen z.B. die Art der Gärprodukte (nur schadstoffarme Gärprodukte).

Die Abbildung 15 zeigt schematisch einen Ausschnitt aus einem Wasserschutzgebiet, aus dem die grundsätzliche Vorgehensweise hervorgeht. Darin zu erkennen sind neben den unterschiedlichen Wasserschutzgebietszonen ein Bach mit Gewässerrandstreifen sowie insbesondere diejenigen Ackerflächen, die aufgrund ihrer Lage innerhalb des Wasserschutzgebietes mit unterschiedlichen Restriktionen belegt sind.

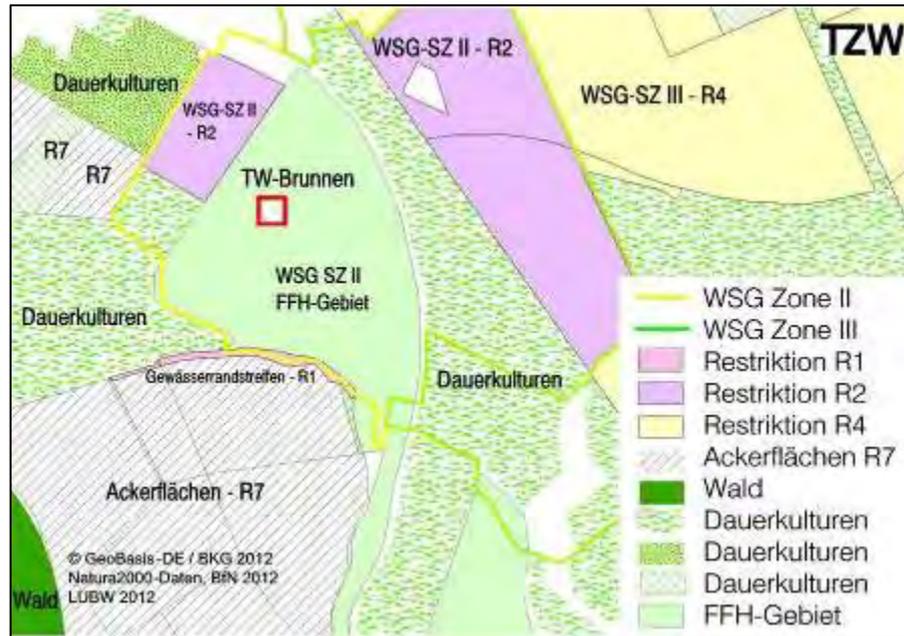


Abbildung 15: Schemabild eines Wasserschutzgebietes mit Schutzzonen, Restriktionsflächen für die Gärproduktausbringung (R2, R4) und Ackerflächen ohne Restriktionen (R7)

Eine kurze Erläuterung der dargestellten Restriktionen aufgrund der Schutzgebietskategorien enthält Tabelle 14. Darin sind die aus Gewässerschutzsicht erforderlichen Restriktionen für die einzelnen Restriktionsbereiche zusammengestellt, die nachfolgend kurz erläutert werden.

- R1: Schutzzone I von Wasserschutzgebieten; Gewässerrandstreifen; Naturschutzgebiete, Nationalparks, Biosphärenreservate (Kern-, Pflegezone). Für die weiteren Berechnungen wurde als Breite der Gewässerrandstreifen deutschlandweit einheitlich eine Breite von 10 m beidseits der Gewässer festgelegt, unabhängig von evtl. bereits vorhandenen länderspezifischen Regelungen.
- R2 Schutzzone II von Grundwasser- und Heilquellenschutzgebieten; nähere Einzugsgebiete von Trinkwasserfassungen ohne ausgewiesenes Wasserschutzgebiet (innerhalb 50-Tagelinie)
- R3: Schutzzone II von Oberflächenwasserschutzgebieten (Talsperren- und Flusswasserschutzgebieten, festgesetzt, geplant); mit Ausnahmemöglichkeit
- R4: Schutzzone III von Grundwasser- und Heilquellenschutzgebieten und Oberflächenwasserschutzgebieten; restliche Einzugsgebiete (außerhalb 50-Tagelinie), Wasserwirtschaftliche Vorranggebiete für Trinkwasser, Vorbehaltsgebiet für den Grundwasserschutz, Überschwemmungsgebiete, Karstgebiete
- R5: Nitratbelastete Gebiete (gefährdete Grundwasserkörper bzgl. Nitrat nach WRRL)

- R6: Landschaftsschutzgebiete; FFH-Gebiete, SPA (EU-Vogelschutzgebiete), Ramsar-Gebiete (Feuchtgebiete von internationaler Bedeutung), Naturparke, Biosphärenreservate (Entwicklungszone)
- R7: Gebiete ohne Restriktionen (geltende gesetzliche Regelungen)

In der Tabelle 14 sind die unterschiedlichen Restriktionen hinsichtlich der Gärproduktausbringung, des Energiepflanzenanbaus und des Biogasanlagenbaus aufgrund der Schutzgebietskategorie zusammengefasst.

Tabelle 14: Unterschiedliche Restriktionen hinsichtlich der Gärproduktausbringung des Energiepflanzenanbaus und des Biogasanlagenbaus aufgrund der Schutzgebietskategorie

Ken- nung	Schutzgebietskategorie / schützenswerte Gebiete	mögliche Restriktionen		
		Gärproduktaus- bringung	Energiepflan- zenanbau	Biogasan- lagenbau
1	Schutzzone I; Gewässer- randstreifen; Naturschutzge- biete, Nationalparks, Bio- sphärenreservate (Kern-, Pflegezone)	keine Gärpro- duktausbringung	kein Energie- pflanzenanbau	keine BGA
2	Schutzzone II (Festgesetzt, geplant); innerhalb 50- Tagelinie	keine Gärpro- duktausbringung	mit Auflagen-1 (keine Gär- produkte)	keine BGA
3	Schutzzone II (Trinkwasser- talsperren)	keine Gärpro- duktausbringung (Ausnahme mgl.)	mit Auflagen-1 (keine Gär- produkte)	keine BGA
4	Schutzzone III (festgesetzt, geplant); restliches Einzugs- gebiet; Trinkwasser- Vorranggebiete; Über- schwemmungsgebiete, Karstgebiete	Einschränkun- gen-1 (Art der Gärprodukte)	mit Auflagen-2 (Art d. Gär- produkte)	keine BGA (Ausnahme mgl.)
5	Nitratbelastete Gebiete (ge- fährdete Grundwasserkörper bzgl. Nitrat nach WRRL)	Einschränkun- gen-2 (Dün- gungshöhe)	mit Auflagen-3 (Düngungs- höhe)	BGA (Auf- lage: Subst. MD/N,P- Export)
6	Landschaftsschutzgebiete; FFH-Gebiete, SPA (EU- Vogelschutzgebiete), Ramsar (Feuchtgeb. internat. Bed.), Naturparke, Biosphä- renreservate: Entwicklungs- zone	Einzelfallbetrachtung		
7	Gebiete ohne Restriktionen	geltende gesetzliche Regelungen		

Ein Beispiel für eine deutschlandweite Kartendarstellung zeigt Abbildung 16 anhand der Restriktionsflächen R2 für die Wasserschutzgebiete und Heilquellenschutzgebiete (Schutzzone II).

Für die weiteren Berechnungen wurden die drei Bereiche *R1, R2 und R3 für eine Gärproduktausbringung ausgeschlossen*.

Bei den Gebieten der *Restriktionsklasse R4* (Schutzzone III; restliches Einzugsgebiet; Trinkwasser-Vorranggebiete; Überschwemmungsgebiete, Karstgebiete) werden Einschränkungen hinsichtlich der Art der Gärprodukte dahingehend gefordert, dass *nur schadstoffarme Gärprodukte* ausgebracht werden dürfen.

Bereits im Rahmen des F&E-Vorhabens GW1/01/07-A/B wurde gefordert, dass der Bau von Biogasanlagen aus Vorsorgegründen nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erfolgen sollte. Liegt eine Aufteilung der Schutzzone III in die Schutzzonen IIIA und IIIB vor, so sind Abweichungen von dieser Forderung in der Schutzzone IIIB grundsätzlich möglich. Nach einer BImSchG-konformen Einzelfallprüfung incl. einer Überprüfung der hydrogeologischen Verhältnisse über ein Fachgutachten sind Ausnahmeregelungen unter Berücksichtigung der Substratauswahl auch für die Schutzzone III/IIIA durch die genehmigende Behörde im Einzelfall möglich, sofern ein ausreichender Abstand zur trinkwasserhygienisch relevanten Schutzzone II gegeben ist [KIEFER 2009].

Zudem wurden für Gebiete mit bereits hoher Nitratbelastung des Grundwassers (gefährdete Grundwasserkörper nach EG-Wasserrahmenrichtlinie) die *Restriktionsklasse R5* festgelegt (Abbildung 17). Ein weiterer Biogasanlagenzubau ist dort unter Nachhaltigkeitsaspekten nur bei Substitution des ausgebrachten Mineraldüngers durch Gärprodukte (s. Kapitel 3.3.3) Einschränkung der Düngungshöhe oder N-Export möglich.

Hinsichtlich der Festlegung der nitratbelasteten Gebiete wurden die nach EU-Wasserrahmenrichtlinie [2000/60/EG] festgelegten gefährdeten Grundwasserkörper bzgl. Nitrat herangezogen (Abbildung 17). Dabei wurden die Flächen mit „Zielerreichung heute“ nicht weiter berücksichtigt (schraffierte Flächen in Abbildung 17). Deutschlandweit handelt es sich hierbei um eine Gesamtfläche von 9,3 Mio. ha, davon sind 4,2 Mio. ha Ackerflächen.

Restriktionsflächen R2

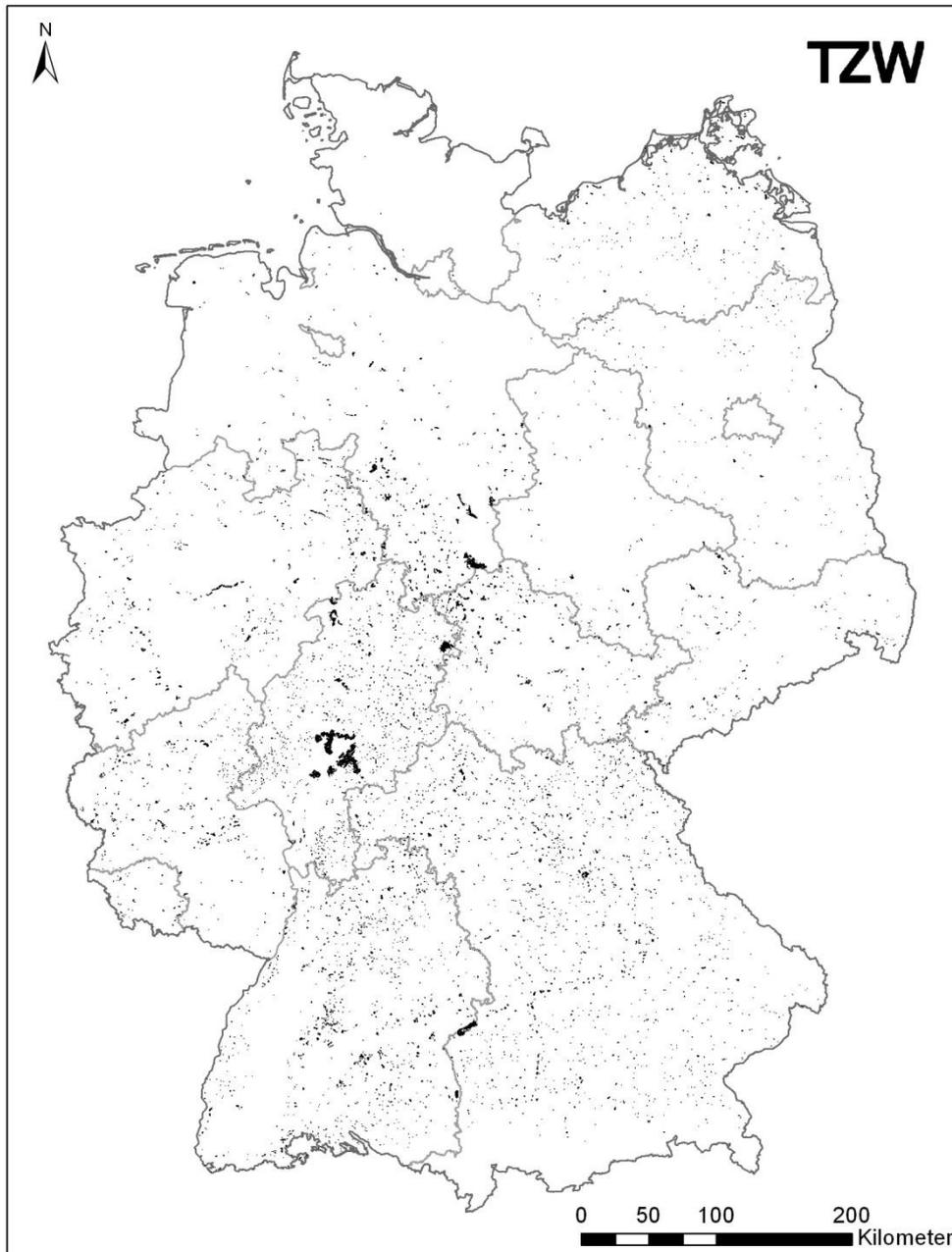


Abbildung 16: Restriktionsflächen R2: Ackerflächen in festgesetzten und geplanten Schutzzonen II von Grundwasser- und Heilquellenschutzgebieten

Darstellung auf der Grundlage von Daten folgender Institutionen: WasserBLicK/BfG, 17.05.2011, © GeoBasis-DE / BKG 2012, Natura2000-Daten, Bundesamt für Naturschutz (BfN), 2011, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Gen.-Nr. LHW/5.1.3/16/2012, Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Gen.-Nr. LAU/FB2/FG21/3-06/2012, Thüringer Landesverwaltungsamt & TLUG, © Bayerisches Landesamt für Umwelt, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Freie und Hansestadt Hamburg, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Landesamt für Kataster, Vermessungs-, und Kartenwesen Saarland, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Senator für Bau, Umwelt und Verkehr in Bremen, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt in Berlin, Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz in Potsdam

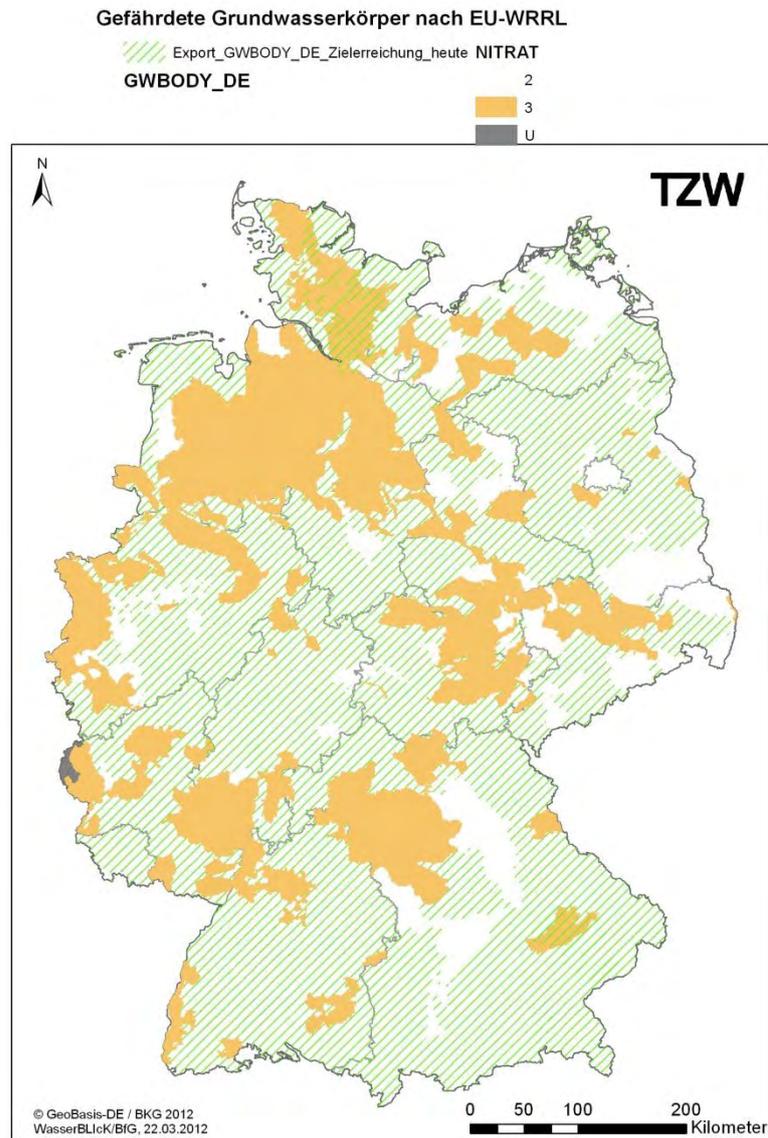


Abbildung 17: Hinsichtlich Nitrat gefährdete Grundwasserkörper (orange „3“) nach EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sowie Grundwasserkörper mit Zielerreichung heute (schraffiert); (2= nicht gefährdet hinsichtlich Nitrat (überwiegend schraffiert), U = Unclassified)

Die Abbildung 18 zeigt die nach WRRL als gefährdet eingestuft Grundwasserkörper im Modellkreis Meißen, sowie die entsprechenden Restriktionsflächen nach Verschnitt mit den Ackerflächen. Die Abbildung 19 zeigt die entsprechenden Abbildungen für den Modellkreis Viersen. Aufgrund der erhöhten Nitratkonzentrationen des Grundwassers sind der gesamte Landkreis Viersen sowie der überwiegende Teil des Kreises Meißen nach WRRL als gefährdet eingestuft (lila Flächen) und die darin befindlichen Ackerflächen (beige) als Restriktionsflächen R5 gekennzeichnet. Die schraffierten Grundwasserkörper wurden 2010 mit „Zielerreichung heute“ eingestuft. Darin befinden sich keine Restriktionsflächen R5.

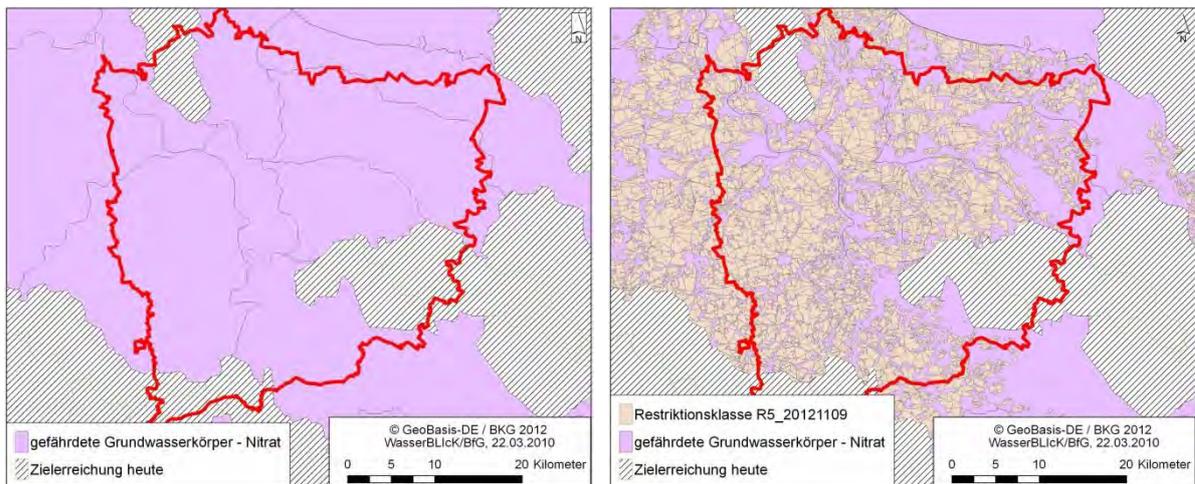


Abbildung 18: Gefährdete Grundwasserkörper nach WRRL und Restriktionsflächen R5 im Landkreis Meißen

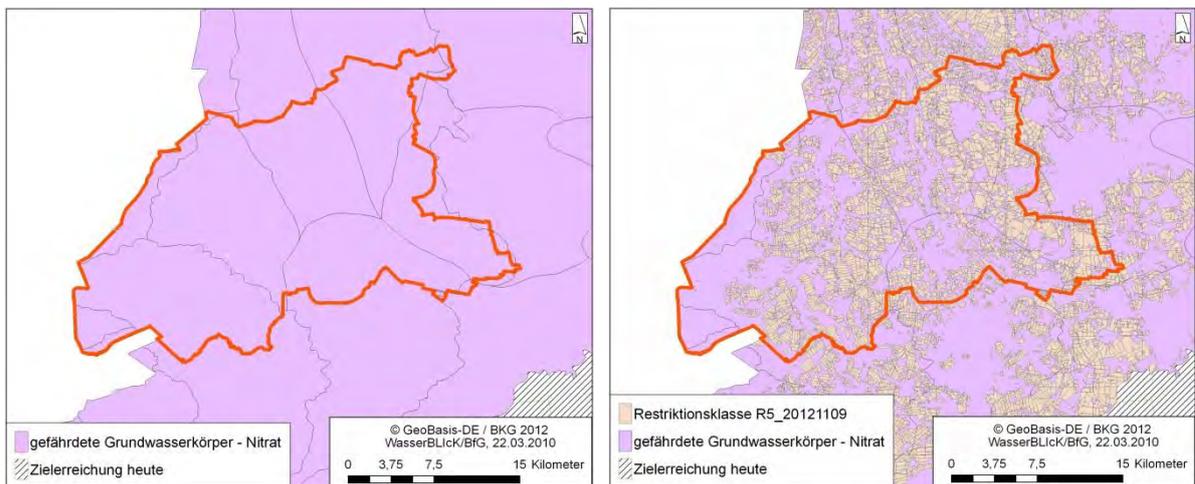


Abbildung 19: gefährdete Grundwasserkörper nach WRRL und Restriktionsflächen R5 im Landkreis Viersen

Auch außerhalb dieser überwiegend wasserwirtschaftlichen Schutzgebiete und Bereiche (R1-R4) sowie der gefährdeten Grundwasserkörper (R5) sollen sowohl Landwirte als auch Biogasanlagenbetreiber für einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau sensibilisiert werden. Hierzu kann die Checkliste zum Anbau von Energiepflanzen und das Gärproduktmanagement (s. Anlage A1) in Verbindung mit dem DVGW Arbeitsblatt W104 [DVGW W 104] bzw. den darin formulierten Empfehlungen hinsichtlich des gewässerschützenden Energiepflanzenanbaus herangezogen werden, damit es zu keiner Verschlechterung der Gewässerqualität kommt.

Eine Entscheidung hinsichtlich der unter der *Restriktionsklasse R6* zusammengefassten Schutzgebiete aus Gründen des Natur- und Landschaftsschutzes kann nur im Einzelfall erfolgen, da die zugrunde liegenden Verordnungen unterschiedliche Schutzziele verfolgen und Einschränkungen der Landbewirtschaftung (außerhalb der Wasserschutz- und -einzugsgebiete) hinsichtlich der Gärproduktausbringung,

des Energiepflanzenanbaus und des Biogasanlagenbaus nur unter Hinzuziehung der zuständigen Fachleute aus dem Naturschutzbereich gebietspezifisch abgestimmt und formuliert werden sollten.

Schwellenwerte für Nitrat im Grundwasser

Im Rahmen des gemeinsam von IAWR, BGW, DVGW, IAWD, ÖVGW, SVWG, VKU und VDG getragenen europäischen Grundwassermemorandums [BGW 2004] wurde 2004 gefordert, dass zum nachhaltigen Schutz der Trinkwasserversorgung und der sicheren Einhaltung von Trinkwassergrenzwerten Schwellenwerte für gesundheitsrelevante physikalisch-chemische Parameter im Grundwasser erforderlich sind, bei deren Erreichen oder Überschreitung unverzüglich Vermeidungsstrategien beziehungsweise Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Diese Schwellenwerte wurden auf maximal 50 % der Trinkwassergrenzwerte (entsprechend 25 mg/L Nitrat) festgelegt und berücksichtigen auch die langen Zeiten, bis Maßnahmen greifen und laufende Langzeittrends gestoppt werden. Für eine sichere und nachhaltige Trinkwasserversorgung ist es erforderlich, dass das Grundwasser im Einzugsgebiet so geschützt wird, dass Trinkwasser mit natürlichen Verfahren gewonnen werden kann.

Ein Zielwert von 25 mg/L Nitrat wird auch im Memorandum „Forderungen zum Schutz von Fließgewässern und Talsperren zur Sicherung der Trinkwasserversorgung“ gefordert, das von den Verbänden ARW, ATT, AWBR, AWE, AWWR und DVGW im Jahr 2010 verabschiedet wurde [ARW 2010]. Die Zielwerte dieses Memorandums gelten für Fließgewässer und Talsperren, die als Ressource zur Trinkwassergewinnung, einschließlich Uferfiltrat und künstlicher Grundwasseranreicherung, genutzt werden.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde vereinbart, eine Nitratkonzentration von 37,5 mg/L im neu gebildeten Grundwasser unter landwirtschaftlichen Nutzflächen als Zielwert in die von UMSICHT vorgenommenen Berechnungen (s. Kapitel 3.1.2) einzusetzen. Dieser Wert entspricht dem Trendumkehrwert nach WRRL bzw. GrundwasserRL von 75 % des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung (vgl. Kapitel 3.1.2). Aufgrund des Anteils landwirtschaftlich genutzter Flächen innerhalb von Wasserschutzgebieten von durchschnittlich rd. 32 % (vgl. Tabelle 12), kann davon ausgegangen werden, dass innerhalb der Wasserschutzgebiete i.d.R. eine Verdünnung durch die Mischung mit nitratärmerem Grundwasser erfolgt, das unter anderweitigen Flächen ohne landwirtschaftliche Nutzung bzw. Düngung neugebildet wurde und dadurch der geforderte Zielwert einer Nitratkonzentration von 25,0 mg/L im Grundwasser erreicht werden kann.

4.2.3 Übersicht über die deutschlandweiten Restriktionsflächen

Abbildung 20 zeigt ein Schema zu den Größenverhältnissen der Restriktionsflächen R1+R2+R3, R4, R5 und R6 für die Gärproduktausbringung auf Ackerflächen im Vergleich zur Gesamtackerfläche in Deutschland sowie mögliche Überlappungen

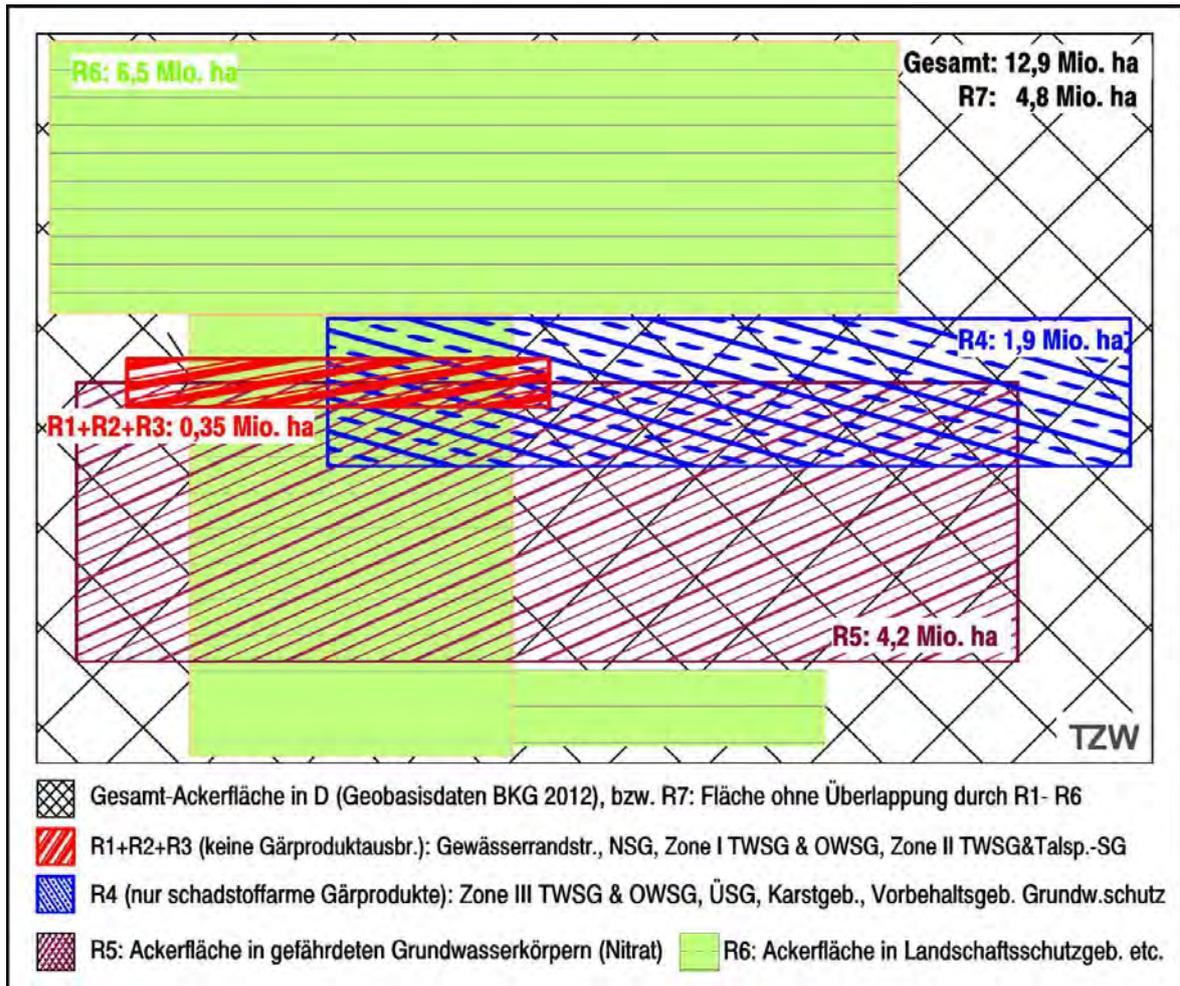


Abbildung 20: Schema zu den Restriktionsflächen R1, R2, R3, R4, R5 und R6 für die Gärproduktausbringung auf Ackerflächen in Deutschland (vgl. Abb. 20, Größenordnungen der Restriktionsflächen im Vergleich zur Gesamtackerfläche maßstabsgetreu, Flächenüberlappungen nicht maßstabsgetreu)

Die Abbildung 21 zeigt eine Übersicht über die jeweilige deutschlandweit aufsummierte Restriktionsfläche in ha für die Gärproduktausbringung auf Ackerflächen für die einzelnen Restriktionsklassen R1 bis R6.

Die Abbildung 20 soll schematisch die Größen der einzelnen Restriktionsflächen im Verhältnis zur gesamten Ackerfläche in Deutschland aufzeigen. Man erkennt, dass durch die strengste Restriktion „keine Gärproduktausbringung“ nur 2,7 % der derzeitigen Ackerfläche in Deutschland betroffen sind. Die Ausbringung schadstoffarmer Gärprodukte (z. B. von Gärprodukten mit Gütesiegel „zur Ausbringung in WSG Zone III geeignet“, vgl. Anlage A1) betrifft rd. 14,8 % der Ackerfläche. Die Restriktion „Substitution Mineraldünger durch Gärprodukte oder Gärproduktaufbereitung und N-Export“ in gefährdeten Grundwasserkörpern bzgl. Nitrat nach WRRL, betreffen allerdings rd. 32 % der Ackerfläche. Der flächenmäßig größte Anteil ergibt sich durch die durch den Natur- und Landschaftsschutz betroffenen Flächen mit rd. 51 % der Ackerfläche. Die Zahlen sind weiter unten im Kapitel nochmals detailliert erläutert.

Unmittelbaren Einfluss auf die Potenzialberechnungen haben nur die Restriktionen R1, R2 & R3, da diese Flächen bei den weiteren Betrachtungen ausgespart wurden (Ausschlussflächen für Gärproduktausbringung).

Die Restriktionsflächen R4 bis R6 beinhalten auch Flächen niedrigerer Restriktionsklassen, so dass z. B. in Restriktionsklasse 5 bereits Flächen der Restriktionsklassen 1 – 4 enthalten sind und in Restriktionsklasse 6 einige Flächen der Restriktionsklassen 1 – 5 enthalten sind. In Abbildung 21 sind jeweils die verbleibenden Gesamtackerflächen der einzelnen Restriktionsklassen ohne die Flächen der niedrigeren Restriktionsklassen dargestellt (s. Abbildung 20, Abbildung 21). In der Abbildung 21 sind die verbleibenden Restriktionsflächen dargestellt (d.h., ohne die niedrigeren Restriktionsklassen).

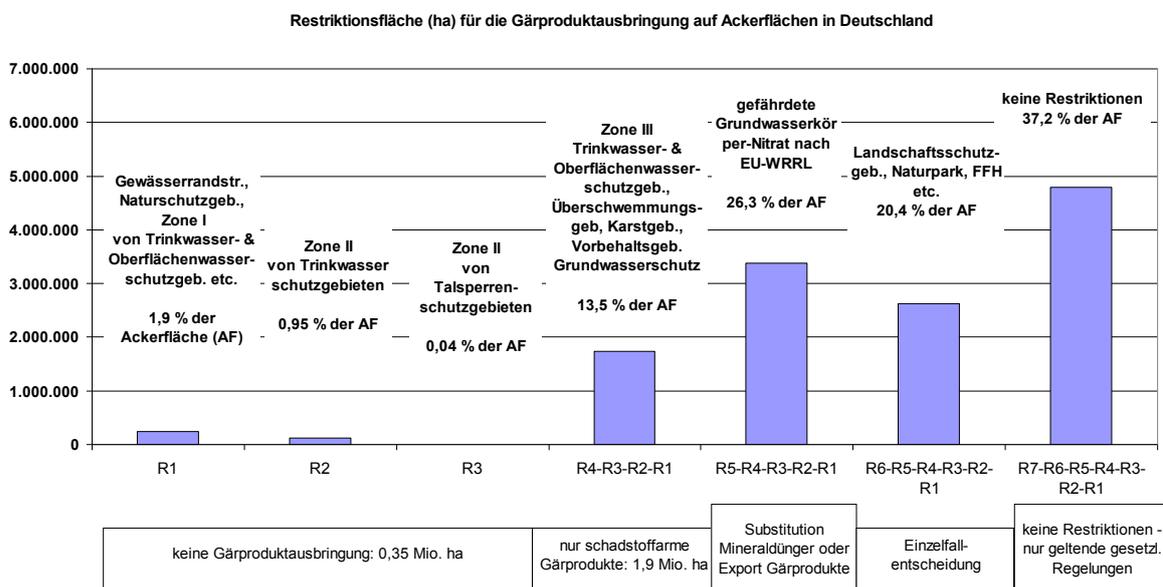


Abbildung 21: Übersicht über die Restriktionsfläche (ha) für die Gärproduktausbringung auf Ackerflächen in Deutschland

Hinsichtlich der Forderungen bezüglich der Gärproduktausbringung ergeben sich die nachfolgend aufgeführten Gesamtflächen und Flächenanteile, jeweils bezogen auf die gesamte Ackerfläche in Deutschland von 12.873.700 ha (Geobasisdaten BKG 2012).

- R1, R2 & R3: keine Gärproduktausbringung auf rd. 0,35 Mio. ha, entsprechend 2,7 % der derzeitigen Ackerfläche in Deutschland, d.h. eine Gärproduktausbringung ist grundsätzlich auf 12,5 Mio. ha möglich.
- R4: nur schadstoffarme Gärprodukte auf rd. 1,9 Mio. ha Ackerfläche, entsprechend 14,8 % der Ackerfläche. Nach Abzug der bereits mit Restriktionen R1, R2 und R3 belegten Flächen verbleiben rd. 1,7 Mio. ha Ackerfläche, entsprechend 13,5 % der deutschlandweiten Ackerfläche.
- R5: Substitution Mineraldünger durch Gärprodukte oder Gärproduktaufbereitung und N-Export auf 4,2 Mio. ha Ackerfläche in gefährdeten Grundwasserkörpern bzgl. Nitrat nach WRRL, entsprechend 32,2 % der Ackerfläche.

Nach Abzug der bereits mit den Restriktionen R1 bis R4 belegten Flächen verbleiben 3,4 Mio. ha Ackerfläche in gefährdeten Grundwasserkörpern bzgl. Nitrat nach WRRL, entsprechend 26,3 % der deutschlandweiten Ackerfläche. Als Restfläche, ohne die wasserwirtschaftlichen Restriktionen R1 bis R5 verbleiben 7,4 Mio. ha Ackerfläche, entsprechend 57,6 % der deutschlandweiten Ackerfläche von 12,9 Mio. ha.

- R6: Einzelfallentscheidung auf rd. 6,5 Mio. ha Ackerfläche, die aus Gründen des Natur- oder Landschaftsschutzes unter Schutz gestellt sind, entsprechend 50,6 % der deutschlandweiten Ackerfläche, nach Abzug der bereits mit den Restriktionen R1 bis R5 belegten Flächen verbleiben Einzelfallentscheidungen auf weiteren rd. 2,6 Mio. ha Ackerfläche, die aus Gründen des Natur- oder Landschaftsschutzes unter Schutz gestellt sind, entsprechend 20,4 % der deutschlandweiten Ackerfläche.
- R7: Als Gesamtfläche ohne Restriktionen R1 bis R6 verbleiben 4,8 Mio. ha Ackerfläche, entsprechend 37,2 % der deutschlandweiten Ackerfläche.

Hierbei ist grundsätzlich zu beachten, dass die Datenbasis nicht einheitlich ist und nicht von allen Bundesländern Daten zu allen Themen und in gleicher Qualität vorliegen. Dies betrifft insbesondere Karstgebiete und Vorrang-/Vorbehaltsgebiete für die Trinkwassergewinnung (R4, vgl. Abschnitt 4.1).

In Abbildung 20 und Abbildung 21 sind Dauergrünlandflächen nicht berücksichtigt, da die Verwertung von Grünschnitt derzeit nur eine untergeordnete Rolle bei der Biogaserzeugung hat. Entsprechend den Auswertungen in Abschnitt 6.2.3 könnten von den derzeit vorhandenen rd. 4,7 Mio. ha Dauergrünland nach Abzug des zu Futterzwecken benötigten Grünlands derzeit theoretisch Dauergrünland von etwa 1,2 Mio. ha energetisch genutzt werden.

Aus einer GIS-gestützten Zusammenführung der Potenziale und aller relevanten Informationen zum Gewässerschutz resultiert letztlich eine Gesamtübersicht über das Biogaserzeugungs- und Biogaseinspeisepotenzial in Deutschland, bei der die Belange des Gewässerschutzes berücksichtigt worden sind (s. Kapitel 6)

4.3 Energiepflanzenanbau zur Biogasproduktion

4.3.1 Verschiedene Studien & F&E-Vorhaben

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens zum Thema Energiepflanzen und Gewässerschutz wurden relevante Verwertungsketten für die energetische Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse in Deutschland anhand potenzieller Auswirkungen auf die Gewässer bewertet. Auf der Basis von Literatúrauswertungen sowie von Expertenbefragungen bestand aus Sicht der befragten Experten Steuerungsbedarf hinsichtlich des Gewässerschutzes insbesondere für folgende Aspekte [NITSCH 2008]:

- der Lagerung, Ausbringungsmenge und Anrechnung von Gärrückständen
- der Überwachung der Nährstoffströme im Zusammenhang mit Biogasanlagen
- dem Grünlandschutz
- dem gewässerschonenden Anbau (unabhängig von der energetischen Verwendung)

Im Hinblick auf die allgemeine Intensivierungstendenz der landwirtschaftlichen Flächennutzung wurde empfohlen, eine Überprüfung bestehender Standards für die Landnutzung vorzunehmen.

Bereits im Jahr 2007 wurden in einem Positionspapier Forderungen im Hinblick auf die „Gewässerschonende Produktion von Energiepflanzen und den gewässerschonenden Einsatz von Gärrückständen aus Biogasanlagen in der Pflanzenproduktion“ formuliert [DVGW 2007]. Ende 2008 wurde das Positionspapier aktualisiert [DVGW 2008]. Im Positionspapier wurden verschiedene Forderungen im Hinblick auf den gewässerschützenden Anbau von Energiepflanzen, die landbauliche Verwertung von Gärrückständen und im Hinblick auf die Einhaltung von Rechtsbestimmungen aufgestellt. In den Jahren 2012/2013 wurde eine Liste von Substraten für Biogasanlagen, deren Gärprodukte anschließend zur Ausbringung in der Schutzzone III von Wasserschutzgebieten geeignet sind, von den zuständigen DVGW-Gremien und TZW in Zusammenarbeit mit der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) und der Gütegemeinschaft Gärprodukte (GGG) als Basis für ein Gütezeichen mit dem Zusatz „Für die Ausbringung in der Schutzzone III geeignet“ erarbeitet und am 19. Juni 2013 herausgegeben [DVGW 2013].

Mögliche Wirkungen und Folgen des Anbaus und der Nutzung nachwachsender Rohstoffe auf Böden und Grundwasser werden zudem ausführlich im Merkblatt DWA-M 907 [DWA 2010] und der inhaltsgleichen DVGW-Wasser-Information Nr. 73 [DVGW 2010a] zusammengestellt. Das Merkblatt/ die Wasserinformation richtet sich an die Politik, Verwaltung, landwirtschaftliche Beratung und Landwirte, die nachwachsende Rohstoffe anbauen.

Im Rahmen von Untersuchungen zu Veränderungen hinsichtlich der Fruchtfolge und der Bewirtschaftung von Ackerflächen in Niedersachsen wurde festgestellt, dass in den viehstarken Landkreisen in den westlichen und nordwestlichen Landesteilen Mais bereits 1999 auf 20 bis 58 % der Ackerfläche angebaut wird und in einigen Landkreisen seither nochmals um 10 bis 15 % angestiegen ist. Die Grenzen des Maisanbaus zur Risikominimierung gegen Ertragsausfälle (z.B. aufgrund von Schädlingsbefall und Bodenverdichtungen) werden von wissenschaftlicher Seite her, je nach Bodenart, Bodenstruktur und Erosionsanfälligkeit des Standortes meist bei etwa 25 bis 50 % Fruchtfolgeanteil gesehen. Auf verdichtungs- und erosionsanfälligen Standorten soll der Flächenanteil nicht über 30 % ansteigen, auf bestimmten Sandböden kann er max. 66 % betragen. Zu einer Begrenzung in der Fruchtfolge wird auch deshalb geraten, da Mais einen hohen Vorfruchtwert für andere Kulturarten besitzt und andererseits das Anbauverfahren Probleme in Hinblick auf Bodenstruktur und Erosion verursachen kann [KARPENSTENMACHAN 2010].

Um Fruchtfolgeerkrankungen, Bodenerosion, Bodenverdichtungen und Humusabbau entgegenzuwirken, ist die Einbindung in ausgewogene Fruchtfolgen notwen-

dig. Durch optimierte Anbaukonzepte mit Untersaaten, Wintergetreideganzpflanzen und typischen Ackerfutterpflanzen (z. B. Artenmischungen mit Leguminosen) kann Mais sein hohes Ertragspotenzial langfristig ausschöpfen und eine nachhaltig hohe Biomasseproduktion des Standortes bei gleichzeitig hoher Artenvielfalt erreicht werden [KARPENSTEN-MACHAN 2010]. [HÖTTE 2010] konnte aufzeigen, dass vielgliedrige Fruchtfolgen mit Energiepflanzen und Marktfrüchten (eine vierfeldrige Fruchtfolge mit Silomais und Getreide und eine achtfeldrige Fruchtfolge mit Silomais, Getreide, Weidelgras und Ackerbohnen) auch wirtschaftlich tragfähig sind.

In diesem Zusammenhang ist das Verbundvorhaben „EVA“ von wesentlicher Bedeutung, weshalb nachfolgend wesentliche Ergebnisse des umfangreichsten nationalen Agrarforschungsprojekts der vergangenen Jahre zusammengestellt werden, in dem verschiedene Fruchtfolgen unter Aspekten des Erosions-, Wasser- und Biodiversitätsschutzes sowie der Notwendigkeit, die Bodenfruchtbarkeit über einen langfristig ausgeglichenen Humushaushalt zu erhalten, untersucht wurden.

4.3.2 Ergebnisse aus dem bundesweiten Verbundvorhaben EVA

4.3.2.1 Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen

Das von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) koordinierte und vom BMELV über die FNR geförderte Verbundvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“, kurz EVA I wurde in den Jahren 2005 – 2009 deutschlandweit an mehreren Standorten durchgeführt [TLL 2010]. Darin wurden verschiedene landwirtschaftliche Kulturarten unter typischen Standortbedingungen Deutschlands auf ihre Ertragsfähigkeit und Eignung als Energiepflanze geprüft.

Im Teilprojekt 1, erfolgte die Untersuchung und Bewertung von fünf gleichen Fruchtfolgen an jedem Standort. Durch den zusätzlichen Anbau von 3–4 regionalspezifischen Fruchtfolgen wurden regionale Gegebenheiten der Standorte berücksichtigt. Die im Jahr 2005 angelegten Fruchtfolgen wurden 2006 an allen Standorten nochmals etabliert, um Jahreseffekte auszuschließen. In Tabelle 15 sind die einheitlich auf diesen Standorten untersuchten Fruchtfolgen dargestellt. Es handelt sich dabei um keine reinen Energie-Fruchtfolgen, sondern um eine Kombination aus Pflanzen für die energetische Verwertung und Marktfrüchten. Auch umfassten diese Fruchtfolgen sowohl etablierte, als auch für die Nutzung als Biogassubstrat vergleichsweise „neue“ Kulturen, wie z.B. Sorghumarten (Sudangras- oder Zuckerrhirsehybriden):

- Bei den Fruchtfolgen 1 bis 3 handelte es sich um Fruchtfolgen, die auf einer Kombination unterschiedlicher Anteile von C3- und C4 -Pflanzen beruhen.
- Fruchtfolge 4 umfasste den Anbau eines mehrjährigen Ackergras-Leguminosen-Gemenges.

- Fruchtfolge 5 enthielt keine C4-Pflanzen und lässt sich als (Ganzpflanzen-) Getreide-Raps-Fruchtfolge charakterisieren, in der Getreide und Marktfrüchte zu gleichen Teilen angebaut werden.

Tabelle 15: Darstellung der Standardfruchtfolgen an den einzelnen EVA-Standorten (Biogassubstratnutzung grün, Kornnutzung gelb hinterlegt [TLL 2010])

Fruchtfolge	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr
1. Versuch	2005	2006	2007	2008
2. Versuch	2006	2007	2008	2009
FF1	So-Gerste (GPS) / Ölrettich (SZF)	Mais (Hauptfrucht)	Wintertriticale (GPS) / SZF Sorghum (b. x b.; (Zuckerhirsehybrid))	Winterweizen (Korn)
FF2	Sorghum (b. x s.; (Sudangrashybrid)) Futterroggen (WZF)	Mais (Zweitfrucht)	Wintertriticale (Korn)	Winterweizen (Korn)
FF3	Mais/ Futterroggen (WZF)	Sorghum (b. x s.; (Sudangrashybrid)) (Zweitfrucht)	Wintertriticale (GPS) / Weidelgras (SZF)	Winterweizen (Korn)
FF4	Sommergerste/ Untersaat Luzerne oder Klee gras	Luzerne oder Klee gras		Winterweizen (Korn)
FF5	Hafersortenmischung (GPS)	Wintertriticale (GPS)	Winterraps (Korn)	Winterweizen (Korn)

GPS= Ganzpflanzensilage, SZF = Sommerzwischenfrucht, WZF = Winterzwischenfrucht

Folgende wesentlichen Ergebnisse aus EVA I sind festzuhalten:

- Für die Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen ist aus ökonomischer Sicht *Silomais* die tragende Fruchtart (Deckungsbeitrag). Es zeigt sich jedoch, dass die Vorrangstellung von Silomais nicht an jedem Standort und in jedem Jahr in gleichem Maße wirkt. Unter den sehr trockenen Bedingungen im Jahr 2006 konnte bei einem Standort beispielsweise mit der Produktion von *Winterroggen-GPS* ein besseres Ergebnis (Deckungsbeitrag) erzielt werden. Winterungen, d.h. Winterzwischenfrüchte oder Ganzpflanzengetreide reduzieren in Trockenjahren das Risiko von Ertragsausfällen, da sie die Winterfeuchte noch in Ertrag umsetzen können.
- Wird eine Winterbegrünung angestrebt, ist der Anbau von Winterroggen-GPS überlegen gegenüber dem Anbau von Senf als Zwischenfrucht gefolgt von Mais. Es ist effektiver, davor (vor Mais) eine Winterzwischenfrucht anzubauen und als Substrat zur Biogaserzeugung mit zu verwenden als eine abfrierende Sommerzwischenfrucht zu bestellen oder eine Winterfurche durchzuführen.

- Über die Standorte betrachtet lieferten *Fruchtfolgen*, die C3- und C4 – Pflanzen kombinieren, die höchsten Erträge. Die Fruchtfolge 3 (Mais – Grünschnittroggen - Sorghum (b.xs.) - Wintertriticale (GPS) - Einjähriges Weidelgras) war im Mittel die produktivste Fruchtfolge mit den geringsten Schwankungen zwischen den beiden zeitversetzten Versuchsanlagen. Im dreijährigen Versuch wurden in den verschiedenen Regionen zwischen 336 und 570 dtTM/ha erzielt.
- Wenngleich Mais als ertragsstärkste und ökonomisch vorteilhafteste Kultur zur Gewinnung von Biogassubstraten weiterhin in der Gestaltung von Fruchtfolgen eine hohe Bedeutung haben wird, zeigten sich auch andere Kulturarten als interessante Alternativen bzw. Ergänzungen, mit denen die Vielfalt in Anbausystemen bei gleichzeitig hohem Ertragsniveau gesteigert und Anbaurisiken gesenkt werden können. So lassen sich *Sorghumarten* hervorheben, die, an Standorten mit trocken-warmen Bedingungen schon Ergebnisse zeigen, die einen Anbau als Ergänzung zum Mais interessant machen. Auch *Wintergetreidearten* konnten erfolgreich eingebunden werden und zeigten hohe Erträge insbesondere auf den besseren Standorten Ostdeutschlands. Durch geringere Produktionskosten und hohe Methan- ausbeuten war *Wintergetreide-GPS* (Wintertriticale oder -roggen) 2006 an Standorten mit geringerer Vorzüglichkeit des Maises auch bei geringeren Trockenmasseerträgen ökonomisch überlegen.
- Es zeigte sich auch, dass mit *mehrfährigem Ackerfutterbau* unter Verwendung standortangepasster Mischungen hohe Energieerträge erzielt werden können.
- Unter Berücksichtigung von Aspekten des Erosions-, Wasser- und Biodiversitätsschutzes sowie der Notwendigkeit, Bodenfruchtbarkeit über einen langfristig ausgeglichenen Humushaushalt zu erhalten, ergeben sich standortspezifisch zusätzliche Empfehlungen. Aus Sicht des Erosionsschutzes ist eine *standortangepasste Gestaltung von Anbausystemen* von großer Bedeutung. Eine reduzierte Bodenbearbeitung kann vor dem Anbau von Sommerungen wie Mais vor allem in der Kombination Winterung - Sommerung Erosionsgefahren stark verringern. Auch die Nutzung von Ackerfutmischungen kann über eine mehrjährige Bodenbedeckung Erosionsrisiken minimieren. Darüber hinaus kann der Ackerfutterbau zu einer Steigerung von Humussalden beitragen. Entscheidende Voraussetzung für eine positive Humusbilanz von Fruchtfolgen mit hohem Anteil an Energiepflanzen ist aber die Rückführung der Gärprodukte. Die Humussaldengruppe D (hoch, 101-300 kg Humus-C je ha und Jahr) sollte dabei im Interesse einer Vermeidung erhöhter Stickstoffmineralisierungspotenziale nicht überschritten werden.

Fazit

Im Hinblick auf die vorliegende Fragestellung zeigte das Projekt, dass es verschiedene Alternativen zu einem reinen Mono-Silomaisanbau gibt, die aus Gewässerschutzsicht allein schon aufgrund der nahezu ganzjährigen Bodenbedeckung vorteilhafter sein dürften. Einer standortangepassten Gestaltung von Anbausystemen kommt in diesem Zusammenhang sicherlich eine große Bedeutung zu. In einzelnen Jahren wurden durch manche Fruchtfolgen im Rahmen von EVA I

sogar bessere Deckungsbeiträge erreicht als bei Mais in Hauptfruchtstellung, im Mittel über mehrere Jahre lagen die Deckungsbeiträge demgegenüber jedoch (standort- und kulturabhängig) niedriger. Angepasste und optimierte Fruchtfolgen sind jedoch für den landwirtschaftlichen Betrieb auch im Hinblick auf eine positive Humusbilanz und aus Gründen des Erosionsschutzes von Bedeutung.

4.3.2.2 EVA-Teilprojekt Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus

Innerhalb des *Teilprojekts 2* „Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus“ wurden in EVA I (2005 –2009) und EVA II (2009 – 2012) wissenschaftliche Untersuchungen zu den ökologischen Folgewirkungen durchgeführt, die in zwei getrennten Arbeitsgruppen in „abiotische“ und „biotische“ Folgewirkungen getrennt waren [ZALF 2013].

Innerhalb der abiotischen Folgewirkungen wurden beispielsweise langfristige Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf die Versorgung des Bodens mit Humus bzw. die Rolle der Gärproduktrückführung, sowie Wassererosion oder Wirkungen auf den Stickstoffhaushalt des Bodens näher untersucht, wobei folgende wesentlichen Ergebnisse festzuhalten sind:

- Hinsichtlich des Stickstoffs ist im ausgebrachten Gärprodukt bei langfristiger Anwendung mit einem *Mineraldüngeräquivalent (MDÄ)* von 60-85 % zu rechnen, speziell für Silomais wird aufgrund seiner späten Stickstoffaufnahme ein Mineraldüngeräquivalent von 80 % (incl. Ausbringungsverluste) als realistisch angesehen.
- Es wurde darauf hingewiesen, dass der Anteil an organisch gebundenem Stickstoff (30-40 % des Gesamtstickstoffs) im Boden das *Mineralisierungspotenzial* des Bodens steigert, welches bei langfristiger Düngung mit Gärprodukten bei der Berechnung des Düngebedarfs berücksichtigt werden muss.
- In der Düngeplanung werden die gasförmigen Verluste (z. B. bei der Ausbringung) und der nicht mineraldüngeräquivalent wirkende Anteil nicht weiter berücksichtigt. Sie haben jedoch ökologische Relevanz und tragen zum Stickstoffeintrag in andere Bereiche der Landschaft wie z. B. Grund- und Oberflächenwasser oder nährstoffarme Biotope bei. Deshalb ist die Anpassung der Düngung an den Bedarf des Bestandes und die *Minimierung der Verluste* notwendig. Dazu gehören die *Berücksichtigung der N_{min} -Werte* im Frühjahr und die Ermittlung des Stickstoffgehaltes des Gärproduktes.
- Die 2005–2008 in den Versuchen gemessenen N_{min} -Werte liegen im Mittelwert zwischen 20 und 60 kg/ha. Einzelne Werte, insbesondere bei Mais, zeigen jedoch hohe Stickstoffmengen von über 90 kg/ha. Die hohen N_{min} -Werte nach Ernte bei Silomais sind in Fällen gemessen worden, in denen das Ertragsziel nicht erreicht wurde. In diesen Fällen wäre im Nachhinein betrachtet eine weniger optimistische Düngeplanung, bzw. *Ertragsprognose* ökonomisch und ökologisch vorteilhaft gewesen.

- Als ein wichtiges in die Praxis übertragbares Versuchsergebnis wurde festgehalten, dass Silomais und Sorghum in Zweitfruchtstellung jeweils einen um 10-25 % geringeren N_{\min} -Wert nach Ernte, im Vergleich zum Anbau in Hauptfruchtstellung haben.

Aussagen zur Wasserschutzleistung im Energiepflanzenanbau aus den Fruchtfolgeversuchen in EVA I und II [VON BUTTLAR 2013]

Bei den Fruchtfolgeversuchen in EVA I und II wurden in mehreren Kulturen und Prüfvarianten auf 8 Standorten langjährige N_{\min} -Ergebnisse (2006-2010) erhoben, die erste Aussagen zur kulturartenbezogenen N-Dynamik und dem N-Auswaschungspotenzial der untersuchten Kulturen zulassen. Einschränkend wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Stickstoffdüngung in den Versuchen rein mineralisch erfolgte. In der Praxis kommen dagegen überwiegend organische Dünger zum Einsatz, die i. d. R. ein höheres N-Nachlieferungsniveau zeigen. Die Ergebnisse von N_{\min} -Untersuchungen im Energiepflanzenanbau lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Hauptfruchtanbau von *Mais* wies mit ~ 70 kg N/ha die höchsten Herbst- N_{\min} -Werte auf. Diese lagen noch über den Werten der Referenzkultur Winterweizen-Korn, die ebenfalls ein hohes Herbst- N_{\min} -Niveau (~ 60 kg N_{\min} /ha) aufwies.
- Durch den Anbau von *Grünroggen* vor Mais-Hauptfrucht konnte der N_{\min} -Wert gegenüber Mais im Hauptfruchtanbau um ca. 20 kg N/ha gesenkt werden.
- Futterhirse und Sonnenblumen im Hauptfruchtanbau konnten mit angepasster N-Düngung Nachernte- und Herbst- N_{\min} Werte unter 50 kg N/ha erzielen, jedoch bei deutlich niedrigerem Ertragsniveau als beim Mais.
- *Getreide-GPS* zeigte mit <10 kg N/ha die niedrigsten Nachernte N_{\min} -Werte. Der deutliche Anstieg der N_{\min} -Werte bis zum Herbst macht allerdings auch deutlich, dass nach dem GPS-Getreide unbedingt eine Folgekultur oder eine Zwischenfrucht angebaut werden sollte, um die frei werdenden N-Mengen aus der Bodenmineralisation aufzunehmen.
- Alle Kulturarten wiesen einen Anstieg der N_{\min} -Werte zwischen der Ernte bis vor Winter auf. Durch die Bodenbearbeitung wurde die Mineralisation in diesem Zeitraum gefördert und Stickstoff freigesetzt. Ausnahmen bildeten die Prüfvarianten Roggen-GPS mit Nachbau Sudangras (N_{\min} -Senkung).

Erste Ergebnisse aus den Streifenversuchen zum Energiepflanzenanbau nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) auf Praxisbetrieben

Darin wurden ausgewählte Ergebnisse der Streifenversuche zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie auf Praxisbetrieben aus dem Versuchsjahr 2010/2011 dargestellt, wobei auf die Standorte in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt eingegangen wird. Der Schwerpunkt liegt auf der Darstellung von Ertragsleistungen, Herbst N_{\min} -Werten und Stickstoffsalden bei unterschiedlichen Nutzungsvarianten.

- In Sachsen-Anhalt zeigten die zwei Varianten mit Getreide (Triticale)-GPS und mit bzw. ohne Untersaat ausgesprochen niedrige Ernte- N_{\min} Werte und

eignen sich somit aus Wasserschutzsicht besonders gut [VON BUTTLAR 2012c].

- Auch bei einem Streifenversuch in Hessen fiel das Getreide GPS mit einem Herbst N_{\min} -Wert von 12 kg N/ha sehr positiv auf. Durch die frühe Ernte wäre zudem der Nachbau einer weiteren Kultur als Substratlieferant oder der Anbau von Winterraps möglich [VON BUTTLAR 2012a].
- Der Getreide-GPS-Anbau mit Untersaat Wiesenschwingel führte auch in Niedersachsen in allen Varianten zu äußerst niedrigen Herbst- N_{\min} Werten und weist damit ein hohes Wasserschutzpotenzial auf [VON BUTTLAR 2012b].

Fazit

Im Rahmen des EVA-Teilprojekts „ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus“ wurden wesentliche Eckpunkte herausgearbeitet, die Voraussetzung für eine bedarfs- und sachgerechte Bemessung der Düngung, insbesondere bei Verwendung von Gärprodukten, sind. Hierbei handelt es sich z. B. um die Anpassung der Düngung an den tatsächlichen Bedarf des Bestandes auf der Basis realistischer Ertragsprognosen, die Berücksichtigung der N_{\min} -Werte im Frühjahr und eine realistische Einschätzung des Mineralisierungspotenzials. Hierzu ist die Ermittlung des Stickstoffgehaltes des Gärproduktes vor der Ausbringung unbedingt erforderlich. Aufgrund der ökologischen Relevanz (z. B. Stickstoffeinträge in Grund- und Oberflächenwasser) ist eine Minimierung der Verluste von grundsätzlicher Bedeutung.

Aus den vorliegenden Versuchsergebnissen lässt sich festhalten, dass insbesondere Getreide-GPS durch niedrige N_{\min} -Werte nach der Ernte sehr positiv abschneidet. Wenn dieses Fruchtfolgeglied sinnvoll in entsprechende Systeme eingebaut wird, kann man annehmen, dass die entsprechenden Fruchtfolgen, unter Gewässerschutzaspekten betrachtet, deutlich positiver abschneiden als Silomais im Monoanbau und daher eine mögliche Alternative zu sein scheint. Eine möglicherweise etwas geringere Wirtschaftlichkeit wird zumindest teilweise durch weitere Vorteile (z.B. hinsichtlich Ertragsstabilität und Humusproduktion) kompensiert.

Es ist notwendig, für unterschiedliche Klimaregionen und Standorte angepasste und nachhaltige Konzepte zu entwickeln. Die Fruchtfolgen sollten nicht nur im Hinblick auf den Methanertrag und die Wirtschaftlichkeit des Energiepflanzenanbaus, sondern auch im Hinblick auf den Schutz der Gewässer optimiert werden.

4.4 Schadstoffverlagerung und -ausbreitung im Boden und Grundwasser

Wie die Auswertungen in Abschnitt 4.2.2 zeigen, nehmen die nach EU-Wasserrahmenrichtlinie [2000/60/EG] bzgl. Nitrat festgelegten gefährdeten Grundwasserkörper deutschlandweit eine Gesamtfläche von 9,3 Mio. ha ein, davon sind 4,2 Mio. ha Ackerflächen. Dies entspricht ca. 32 % der bundesweiten Ackerflächen. In den meisten Fällen kann man annehmen, dass die erhöhte Nit-

ratbelastung des Grundwassers vor allem auf die langjährige intensive landwirtschaftliche Nutzung in den jeweiligen Einzugsgebieten zurückzuführen ist.

Diese Problematik wird in den letzten Jahren in vielen Regionen durch den zusätzlichen deutlichen Zubau von Biogasanlagen verschärft, wodurch vermehrt Gärprodukte zur Düngung der Pflanzenbestände eingesetzt werden und sich Nährstoffflüsse in den Ausbringungsregionen verändern. Insbesondere infolge von Ertragsdepressionen, bei nicht pflanzenbedarfsgerechter Düngung der angebauten Kulturpflanzen oder auch bei Ausschöpfung der laut Düngeverordnung maximal zulässigen Ausbringungsmengen organischer Nährstoffträger, können am Ende der Vegetationszeit erhöhte Nitratstickstoffgehalte im Boden vorliegen.

Regionen mit überhöhtem Tierbestand sind in dieser Hinsicht besonders kritisch zu sehen, da oft für die aus anderen Regionen eingeführten Futtermittel (z. B. Krafffutter) keine ausreichenden Flächen für eine pflanzenbedarfsgerechte Ausbringung der anfallenden Gülle mehr vorhanden sind und diese teilweise zur „Unzeit“ ausgebracht wird. Auch nach Vergärung der Gülle in Fermentern finden sich die Nährstoffe in nahezu unveränderter Höhe in den Gärprodukten wieder.

Die überschüssigen Stickstoffmengen werden im Zuge der Grundwasserneubildung aus dem Bodenbereich über den Sickerwasserpfad ins Grundwasser verlagert und die Grundwasserqualität kann je nach Agrarstruktur und Denitrifikationspotenzial des Bodens unterschiedlich stark beeinträchtigt werden.

Bei unsachgemäßem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) oder falls kurz nach der PSM-Applikation Starkniederschläge auftreten, kann es zu PSM-Einträgen ins Grundwasser kommen. Abschwemmungen können zu Einträgen in die Oberflächengewässer führen, die bei Infiltration auch über diesen Pfad ins Grundwasser vordringen können.

Dies steht nicht im Einklang mit dem Wasserhaushaltsgesetz [WHG 2008] wonach „Grundwasser so zu bewirtschaften ist, dass eine Verschlechterung seines mengenmäßigen und seines chemischen Zustands vermieden wird“.

Um derartige Entwicklungen erkennen zu können und ggf. rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten zu können, sind i. d. R. umfassende Monitoringprogramme des Bodens und des Grundwassers im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungsanlagen erforderlich, die vom Wasserversorger durchgeführt bzw. beauftragt werden müssen. Dies kann beispielsweise über Bodenkontrollen auf den Nitratstickstoffgehalt sowie regelmäßige Grundwasser-Untersuchungen an geeigneten Grundwassermessstellen erfolgen. Im Einzelfall kann es auch erforderlich sein, dass zunächst das Grundwassermessnetz ertüchtigt werden muss (Messstellenneubau). Derartige Arbeiten und Untersuchungen sind jedoch kostspielig und zeitaufwändig. Wenn dabei negative Entwicklungen erkannt werden, sind schnellstmöglich Maßnahmen zur Trendumkehr einzuleiten.

Die Schadstoffausbreitung im Aquifer ist insbesondere abhängig von der Höhe der Grundwasserneubildung und den hydrogeologischen Verhältnissen. Um genauere Kenntnisse über gebietsspezifische Ausbreitungs- und Transportvorgänge im Untergrund zu erhalten und um den Transport von Inhaltsstoffen in Grundwasserleitern beschreiben zu können, kann es erforderlich sein, Modelle einzusetzen. Grundwassermodelle stellen nach [DGG 2002] ein wichtiges und anerkanntes Arbeitsmittel zur Beantwortung komplexer Fragestellungen dar. Einsatzspektrum der

Grundwassermodelle sind z.B. lokale Fragestellungen zur Prognose und Optimierung von Grundwassersanierungen, oder die Abgrenzung von Trinkwasserschutzgebieten. Das Hydrogeologische Modell bietet eine zuverlässige Grundlage für das Verständnis eines hydrogeologischen Systems und die Vorhersage seines Verhaltens [DGG 2010]. Computergestützte Simulationsmodelle sind nach [WICHMANN 2003] für die Modellierung der ungesättigten und gesättigten Bodenzone geeignet.

Bei Fortdauer der Schadstoffeinträge, wie es insbesondere hinsichtlich Nitrat seit vielen Jahren in verschiedenen Wasserschutzgebieten zu beobachten ist, können diese Einträge letztendlich dazu führen, dass Trinkwasserbrunnen auf unbestimmte Zeit entweder nicht mehr in dem geplanten Umfang oder überhaupt nicht mehr genutzt werden können, Aufbereitungsmaßnahmen vorgenommen werden müssen oder Fremdwasser bezogen werden muss. Dies kann letztendlich zur Aufgabe des Gewinnungsgebietes führen.

Eine Aufbereitung des belasteten Wassers ist i. d. R. sehr kostspielig und stellt daher keine befriedigende Dauerlösung dar. Zudem werden die Kosten meist nicht vom Verursacher übernommen, sondern sie werden i. d. R. auf den Wasserpreis und somit auf den Verbraucher umgelegt und somit sozialisiert. Entsprechend § 7 der Oberflächengewässerverordnung [OGewV 2011] sind die Oberflächenwasserkörper, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, mit dem Ziel zu bewirtschaften, eine Verschlechterung ihrer Qualität zu verhindern und so den für die Gewinnung von Trinkwasser erforderlichen Umfang der Aufbereitung zu verringern.

Bei geplantem Fremdwasserbezug ist §50 (2) des Wasserhaushaltsgesetzes [WHG 2008] zu beachten, wonach „der Wasserbedarf der öffentlichen Wasserversorgung vorrangig aus ortsnahen Wasservorkommen zu decken ist“

Fazit

Aus diesen Gründen sind alle Anstrengungen zu unternehmen, um Schadstoffeinträge in die Gewässer möglichst zu verhindern oder zumindest - soweit möglich - zu minimieren. Daher werden im Kapitel 10.1 zunächst Handlungsempfehlungen für die Landwirtschaft formuliert, um in den Vorzugsgebieten einer Verschlechterung der Gewässerqualität vorzubeugen. Hierdurch soll ein gewässerschützender Energiepflanzenanbau auch in diesen Regionen begünstigt und eine Verschlechterung der Grundwasserqualität vermieden werden.

5 Grundlagen der Gasinfrastruktur

Das Gasnetz verfügt über ein hohes Potenzial, große Mengen Biogas aufzunehmen, zu verteilen und in den angeschlossenen Unterspeichern (UGS) zu speichern. Im Rahmen des Projekts wird die ganzjährig verfügbare Einspeisekapazität als Grundlage für eine kontinuierliche Biogaseinspeisung abgeschätzt.

Bei der *ganzjährig verfügbaren Einspeisekapazität* handelt es sich um den minimalen Gasabsatz einer Leitung oder eines Netzes (in der sogenannten „lauen Sommernacht“). Dieser minimale Gasabsatz entspricht der Menge an Biogas, welche ganzjährig sicher als Austauschgas eingespeist werden kann, ohne dass eine Rückspeisung von nach- bzw. in vorgelagerte Netze oder andere kapazitätserhöhenden Maßnahmen notwendig werden. Eine Rückspeisung ist mit hohem finanziellem und technischem Aufwand verbunden, da diese Anlagen kostenintensive Komponenten wie Verdichter, Messeinrichtungen und ggf. Elemente zur Deodorierung, Entfeuchtung und zur Sauerstoffentfernung enthalten. Die Rückspeisung in vorgelagerte Netze sollte daher aus wirtschaftlicher Sicht in der jeweiligen Region geprüft werden. Innerhalb der vorliegenden Studie wird die Untersuchung der Kapazitätserweiterung durch Rückverdichtung verzichtet. Im Ergebnis der Untersuchung wird sich zeigen, dass diese Annahme gerechtfertigt ist.

Zur Ermittlung der ganzjährig verfügbaren Einspeisekapazität wurde eine Methode auf Basis des Gasabsatzes auf Gemeindeebene entwickelt. Die zugrundeliegende Annahme ist, dass die minimale Gasabnahme in einer Gemeinde der minimalen Einspeisekapazität des Gasnetzes im entsprechenden Gebiet entspricht. Es wird davon ausgegangen, dass die Biogaseinspeisung überwiegend in die regionalen Verteilnetze (Hochdruck, > 4 bar) erfolgt, da die örtlichen Netze auf der Niederdruckebene i.d.R. nicht über ausreichende Einspeisekapazitäten verfügen.

Dieses Vorgehen erlaubt die Abschätzung der Einspeisekapazitäten des Gasnetzes zur Biogaseinspeisung, ohne die Topologie und Parameter des Gasnetzes im Detail zu kennen. Bei der Zuordnung des Gasabsatzes zu den Gemeinden kann es aufgrund der sehr unterschiedlichen Abnehmerstrukturen zu Unschärfen kommen, diese gleichen sich jedoch in der Region wieder aus. Grundsätzlich ist vor der Planung einer Biogaseinspeisung immer die Einspeisekapazität des betreffenden Gasnetzes zu prüfen.

5.1 Ansatz zur Ermittlung der minimalen Einspeisekapazität

Die Ermittlung der minimalen Kapazität auf Gemeindeebene erfolgt, aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten, in mehreren Teilschritten (siehe Abbildung 22):

1. Ermittlung des minimalen Gasverbrauchs auf Versorger-/Netzebene auf der Basis der Gasstatistik des BDEW [BDEW 2009]
2. Zuordnung der Gemeinden zu den Versorgungs-/Netzgebieten [LUTUM 2012]
3. Ersatzwertbildung

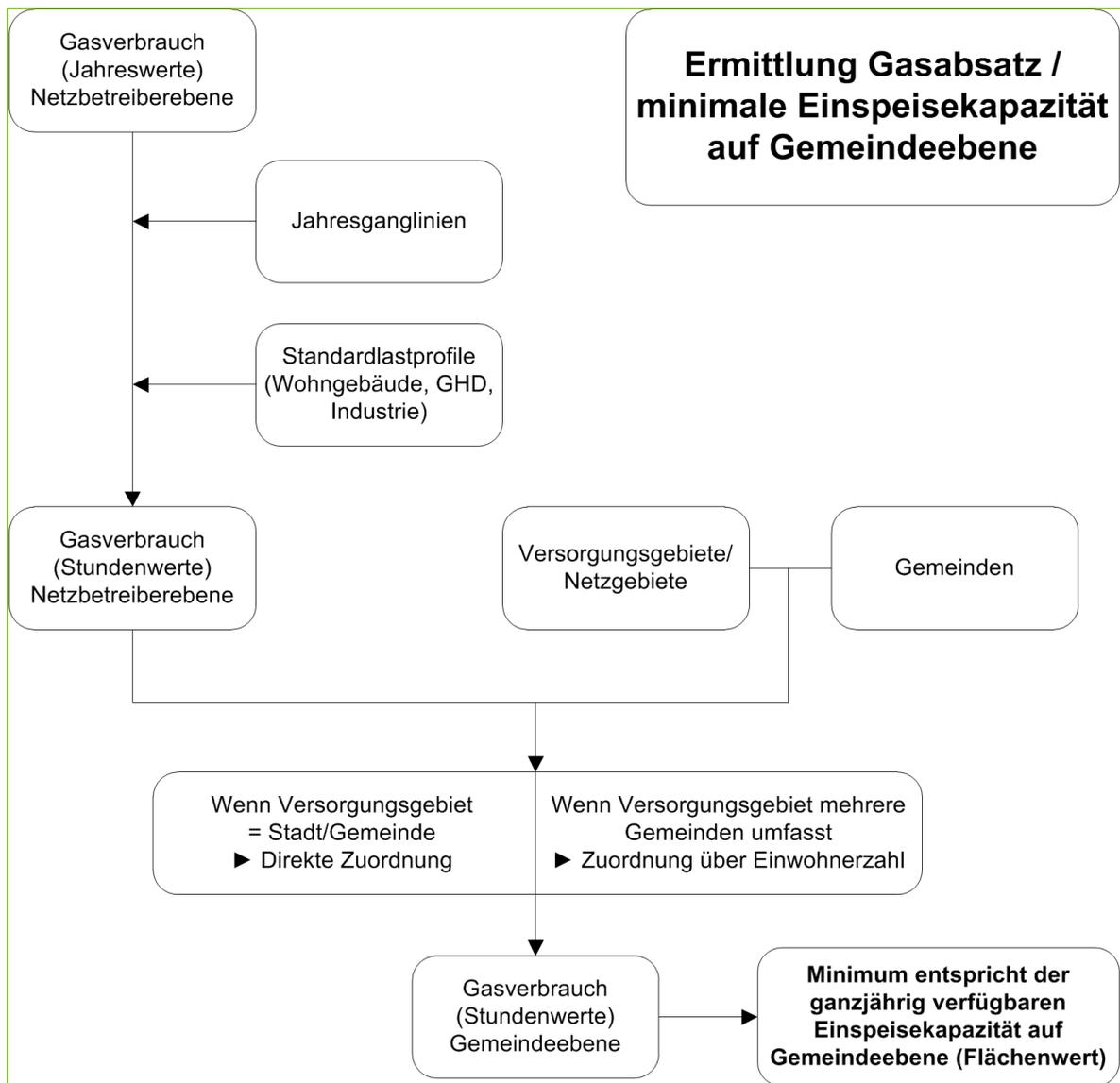


Abbildung 22: Ermittlung der minimalen Kapazität des Gasnetzes - Schema

Zur Ermittlung des minimalen Gasverbrauchs auf Versorger-/Netzbetreiberebene wurde auf die Daten der Gasstatistik des BDEW [BDEW 2009] zurückgegriffen. Diese enthält Daten zur Gasabgabe von vielen Orts- und Regionalgasversorgungsunternehmen für das Jahr 2008, unterteilt nach den Abnehmergruppen:

- Private Haushalte,
- Elektrizitätsversorgung einschließlich Heizkraftwerke (HKW),
- Fernwärmeversorgung,
- Industrie,
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD),
- Gasversorgungsunternehmen,

- Gasausfuhr sowie
- Eigen- und Betriebsverbrauch.

Relevant für die Ermittlung des minimalen Gasverbrauchs sind die Abnehmergruppen:

- Private Haushalte,
- Fernwärmeversorgung,
- Industrie sowie
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD).

Die Daten zur Gasabgabe an *Versorgungsunternehmen* (z.B. Stadtwerke) und *Gasausfuhr* werden nicht berücksichtigt, da ihr Einfluss auf die für die Biogaseinspeisung relevanten Einspeisekapazitäten in den regionalen Gastransport- und -verteilnetzen gering ist. Weiterhin werden diese Gasströme in der Statistik außerhalb des jeweiligen Versorgungsgebietes berücksichtigt (entweder bei der Gasabgabe des jeweiligen Versorgungsunternehmens oder, im Falle der Gasausfuhr, außerhalb Deutschlands).

Die Abnehmergruppe *Elektrizitätsversorgung einschließlich Heizkraftwerke (HKW)* wird nicht berücksichtigt, da die Gaskraftwerke oft in den überregionalen Fernleitungsnetzen eingebunden sind. Des Weiteren wird für die Minimalwertbetrachtung davon ausgegangen, dass Gaskraftwerke zum Zeitpunkt des niedrigsten Gasabsatzes („Sommernacht“) nicht zum Einsatz kommen

Die Informationen zur Gasabgabe an die Abnehmergruppen liegen als Jahreswerte vor. Zur Ermittlung der Minimalwerte sind jedoch Stundenwerte erforderlich. Diese werden unter Verwendung der Daten aus der BDEW-Statistik sowie von Jahreganglinien und Standardlastprofile für Ein- und Mehrfamilienhäuser (EFH, MFH) sowie den GHD-Bereich (siehe Abbildung 23 für EFH, Abbildung 24 für GHD) ermittelt.



Abbildung 23: Jahresganglinie und Standardlastprofil für EFH [AGEB 2011], [VNB 2012]

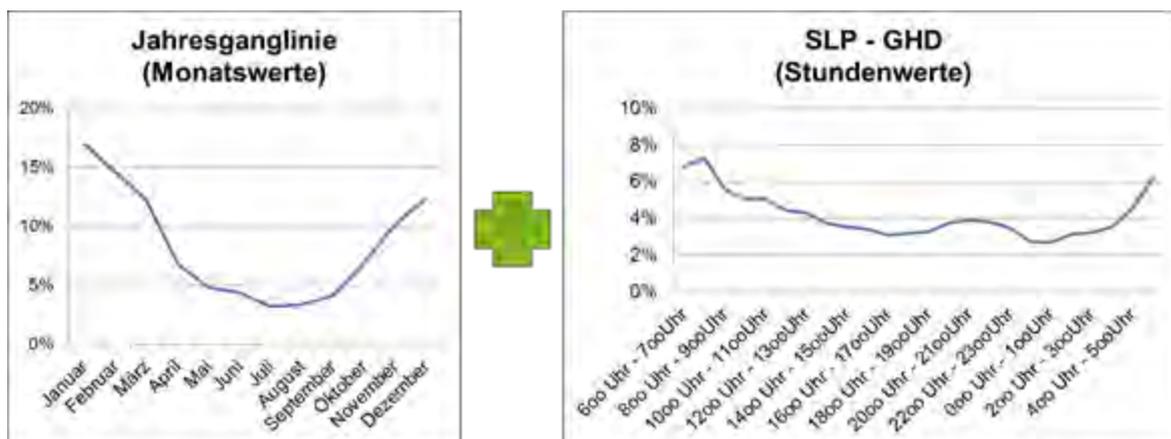


Abbildung 24: Jahresganglinie und Standardlastprofil für GHD [AGEB 2011], [VNB 2012]

Der Gasabsatz der Industrie wird für diese Betrachtung als über das ganze Jahr konstant angenommen. Diese Vereinfachung wurde getroffen, da der industrielle Gasbedarf geringeren jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt und eine deutschlandweite Bedarfsabschätzung im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht darstellbar ist. Daraus abgeleitet kann man das Ergebnis der Einspeisekapazität als konservativ betrachten.

Aus der Betrachtung der minimalen Werte für den Gasabsatz in den Bereichen Haushalte und Fernwärmeversorgung, Gewerbe, Handel, Dienstleistung sowie Industrie ergibt sich ein minimaler Gasabsatz für das jeweilige Versorgungsgebiet.

Die Zuordnung der Gemeinden zu den Versorgungsgebieten erfolgte mit den Netzgebietstabellen von Lutum & Tappert [LUTUM 2012].

Bei z.B. Stadtwerken, wenn nur eine Gemeinde/Stadt versorgt wird, entspricht dieser Wert dem minimalen Gasabsatz der Stadt/Gemeinde. Bei Flächenversorgern, welche mehrere Gemeinden mit Gas versorgen, wird der Gasabsatz anhand der jeweiligen Einwohnerzahl der versorgten Gemeinden entsprechend aufgeschlüsselt.

Da nicht von allen Gasversorgern Daten zum Gasabsatz verfügbar sind, werden Ersatzwerte für die Gemeinden berechnet, welche zwar gasversorgt sind, für die jedoch keine entsprechenden Informationen in der BDEW-Statistik vorliegen. Dazu wurde ein mittlerer, minimaler Gasabsatz pro Einwohner (Haushalte, Industrie und Gewerbe/Handel/Dienstleistung) aus den vorhandenen Geodaten ermittelt und den jeweiligen Gemeinden, basierend auf der Einwohnerzahl, zugewiesen.

Gemeinden, welche basierend auf den zugrunde liegenden Datenbanken nicht gasversorgt sind (in Abbildung 26 grau hinterlegt), wird kein Gasabsatz bzw. kein resultierendes Biogaseinspeisepotenzial zugewiesen.

5.2 Ergebnisse zur minimalen Kapazität des Gasnetzes

Das Ergebnis der Kapazitätsbetrachtung ist eine Karte mit Werten für den minimalen Gasabsatz auf Gemeindeebene, bzw. der resultierenden Biogaseinspeisekapazität (siehe Abbildung 25, Abbildung 26).

- Dunkelrot sind die Gemeinden/Städte mit der höchsten Kapazität.
- Gelb sind die mit den niedrigsten Kapazitäten.
- Grau gefärbte Gemeinden sind, basierend auf der Auswertung der verfügbaren Daten, nicht gasversorgt.

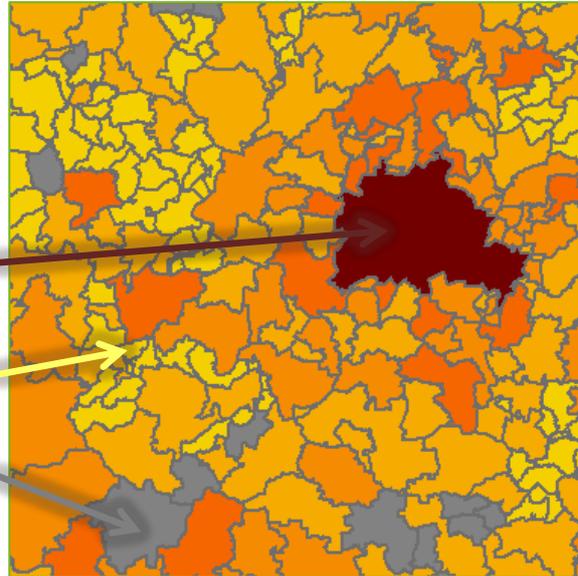


Abbildung 25: Gasnetzkapazitäten - Ausschnitt

Für Gesamtdeutschland wird mit der in Kapitel 5.1 beschriebenen Methode eine minimale Aufnahmekapazität des Gasnetzes von ca. 3 Mio. Nm³/h Biomethan ermittelt. Dieser Volumenstrom könnte ganzjährig in das Gasnetz eingespeist werden ohne dass eine Rückspeisung in übergeordnete Netze notwendig wird. Hochgerechnet auf ein Jahr entspricht das ca. 25 Mrd. Nm³ CH₄, so dass das Gasnetz bilanziell keinen begrenzenden Faktor für das Erreichen der Biogaseinspeiseziele aus der Gasnetzzugangsverordnung darstellt.

Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Standorte der Biogaseinspeiseanlagen (BGEA) unter Berücksichtigung der regionalen Kapazitäten des Gasnetzes ausgewählt werden. Die Deutschlandkarte (siehe Abbildung 26) zeigt, dass die Kapazitäten regional stark unterschiedlich sind und das Gasnetz somit nicht überall für die Einspeisung größerer Mengen Biogas ohne eine Rückspeisung geeignet ist. Die Ermittlung geeigneter Standorte erfordert daher sowohl die Verschneidung der Gasnetzkapazitäten mit den im folgenden bestimmten Biogaserzeugungskapazitäten (siehe Kapitel 6), als auch eine Einzelfallprüfung der potenziell geeigneten Standorte. Eine genauere Analyse zur Ausschöpfung der Einspeisekapazitäten wird im Kapitel 9.3 vorgenommen.

Flächenwerte MinFlow in m³/h Deutschland

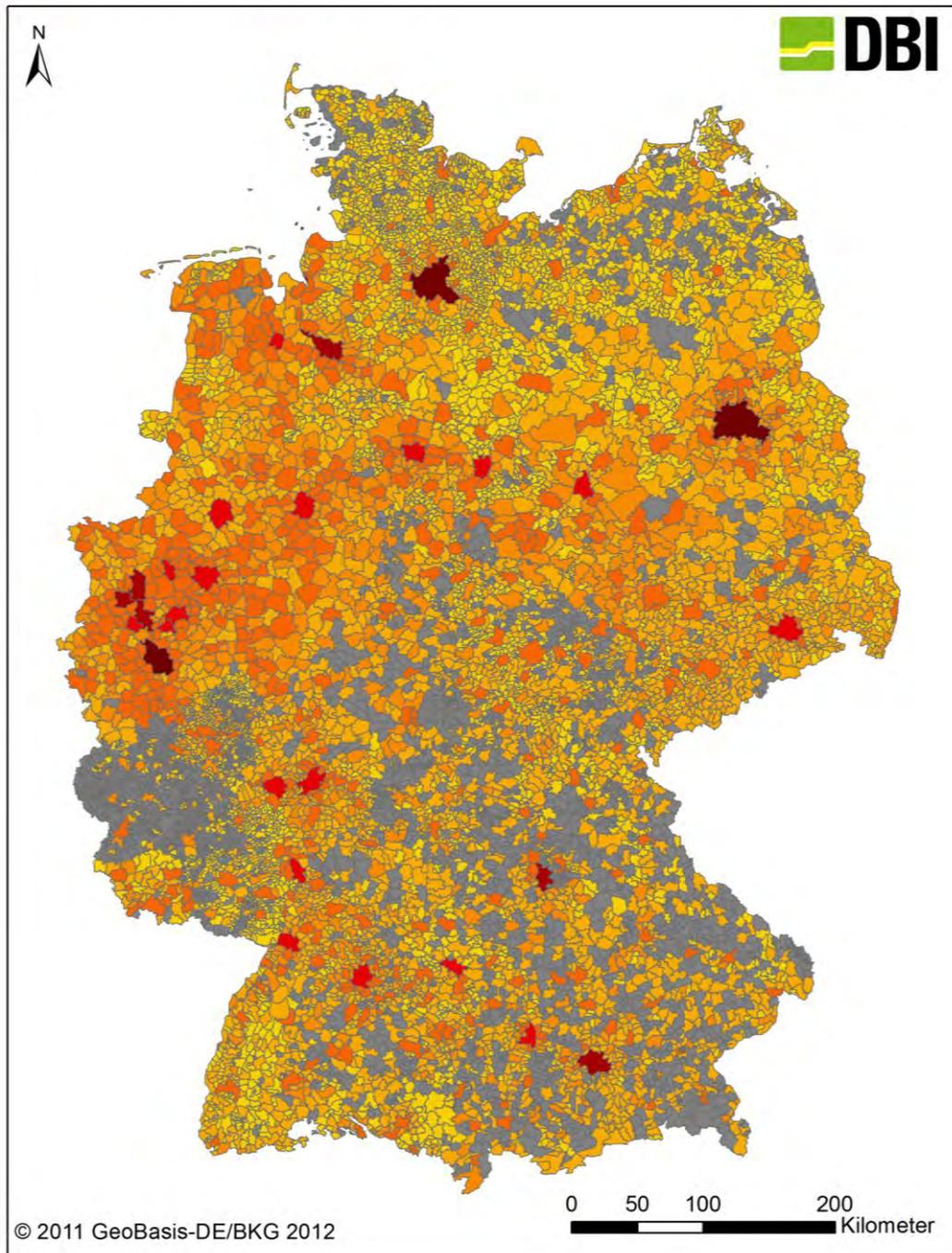
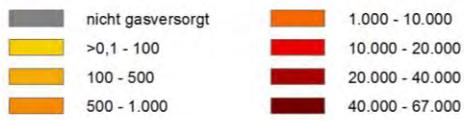


Abbildung 26: Kapazitäten des Gasnetzes - Deutschlandkarte

6 Analyse des Biomethanherzeugungspotenzials

Nachfolgend werden ausgehend von den zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen die verschiedenen Potenziale der unterschiedlichen landwirtschaftlichen, kommunalen und industriellen Substrate bestimmt, welche für eine Biogaserzeugung in Betracht kommen können. Hierzu erfolgt die Potenzialbestimmung in mehreren Stufen (Abbildung 28). Ausgangspunkt ist eine maximale Biogasmenge, welche theoretisch zur Verfügung steht und eine obere Begrenzung des Potenzials darstellt. Dieser Wert ist in der Praxis meist nicht nutzbar und somit eher unbedeutend, bildet aber die Basis für weitere Abstufungen. Im nächsten Schritt werden die verschiedenen, substratspezifischen technischen Parameter berücksichtigt, welche in der Prozesskette vom Substratanfall bis zum Ort der Fermentation auftreten und die Biogaserzeugungsmengen beeinflussen. Dies können beispielsweise Transport- und Lagerverluste sein. Die anschließende Berücksichtigung der Nachhaltigkeitskriterien reduziert das Potenzial weiter (vgl. z.B. Kapitel 3.3) definierten. Letztendlich erfolgt eine Abschätzung, unter welchen Bedingungen das jeweilige Substrat wirtschaftlich in Biogasanlagen eingesetzt werden kann. Hierbei werden Faktoren wie Bezugspreis und konkurrierende Nutzungspfade berücksichtigt.

Diese abgestufte Potenzialbestimmung ist für jedes Substrat aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Parameter einzeln durchzuführen. Das folgende Kapitel beschreibt substratspezifisch sowohl die in die Analyse eingehenden Parameter als auch die Ergebnisse der einzelnen Potenzialstufen.

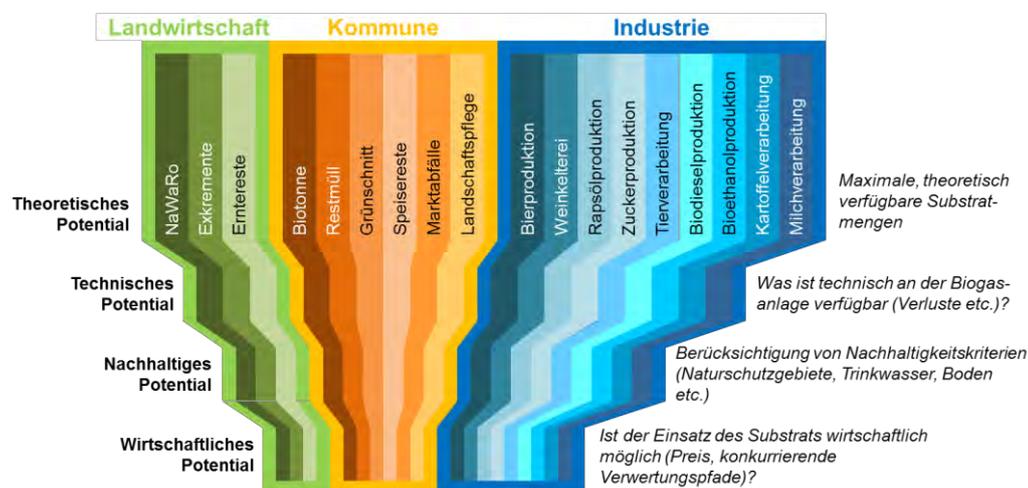


Abbildung 27: Einsatzsubstrate und Potenziale

6.1 Rahmenbedingungen

Die tatsächliche Eignung und Nutzung von organischen Substraten zur Biogaserzeugung ist neben den fermentativen Rahmenbedingungen (erzeugbare Biogasmengen, Biogaszusammensetzung, etc.) auch von der Frage, wie das Substrat zu Biogasanlage kommt und wie hoch die jeweiligen Bezugskosten sind, abhängig.

Hierbei ist insbesondere zu klären, wie groß das Einzugsgebiet für ein Substrat sein kann und ob der Bezugspreis eine wirtschaftliche Biogaserzeugung ermöglicht. Eine allgemeine deutschlandweit gültige Aussage für beide Fragestellungen ist dabei sehr schwierig und kann nur als Abschätzung getroffen werden, da sowohl die Substratpreise als auch die tatsächlichen Transportwege sehr stark von den regionalen/lokalen Gegebenheiten (regional hohe/keine weitere Nachfrage nach dem Substrat, Straßeninfrastruktur) abhängen.

6.1.1 Abschätzung des maximalen Substrateinzugs- / Transportradius

Substrate fallen nicht zwingend in unmittelbarer Nähe zur Biogasanlage an. Vor allem industrielle und kommunale Substrate müssen oft über mehrere Kilometer transportiert werden. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte jedoch der Substrateinzugs- bzw. Transportradius und somit der Lieferweg so klein wie möglich gehalten werden. Der tatsächliche Transportradius hängt sehr stark von der Lage der Substratquelle sowie der Biogasanlage und der verbindenden Straßeninfrastruktur ab. Dabei ist zu beachten, dass das Substrat nicht immer auf der direkten Straßenverbindung transportiert werden kann, da bestimmte (Neben-) Straßen nicht von den Substrattransporteuren befahren werden dürfen. Ebenso kann es sein, dass zwar der Luftlinienabstand zwischen den beiden Standorten gering ist, jedoch ein Hindernis (Fluss, Wald, Autobahn ohne Unter-/Überquerungen etc.) den tatsächlichen Transportweg deutlich erhöht. Darüber hinaus unterscheiden sich standortspezifisch die genutzten Transportmittel (großer/kleiner Lastkraftwagen etc.) und die jeweiligen Transportmengen. Deutschlandweit ist somit eine genaue Aussage, wie weit der maximal wirtschaftliche Lieferweg sein kann, nicht möglich. Um jedoch in dieser Studie eine Aussage über die lokale Verfügbarkeit der jeweiligen Substrate geben zu können, wurde der Transportradius substratspezifisch abgeschätzt. Dieser Transportradius ist dabei als Luftlinie zwischen der Biogasanlage und der Substratquelle anzusehen. Lokale Infrastrukturegebenheiten werden somit nicht berücksichtigt. Durch diese Abschätzung ist daher nur eine allgemeine Aussage zur regionalen Substratliefrestrecke möglich. Im Einzelfall ist jedoch immer gesondert zu prüfen, wie weit der jeweilige Transportweg tatsächlich ist – ggf. kann dieser somit auch (deutlich) länger sein.

Grundlage für die Abschätzung des maximal wirtschaftlichen Transportradius bildet innerhalb dieser Studie das deutschlandweit eingesetzte Substrat Maissilage. Mais stellt derzeit mit ca. 80 % den größten Anteil an eingesetzten nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen dar [FNR 2012c]. Die Ursache liegt in pflanzenbaulichen und technologischen Vorteilen. Diese sind beispielsweise hohe Masse- und Gaserträge, bewährtes Anbauverfahren sowie gute Silierbarkeit und Vergärbarkeit. Basierend auf Umfragen und Abstimmungen mit unterschiedlichen Experten und Interessensvertretern wird für Mais in dieser Studie ein maximaler Transportradius von 15 km angesetzt. Diese Annahme korreliert zudem mit [FNR 2006], wo die Transportentfernung landwirtschaftlicher Substrate unter ökonomischen Gesichtspunkten zwischen 5 und 20 km angegeben wird. Diese Streckenangaben beziehen sich dabei auf tatsächliche Entfernungen und nicht auf die direkte/kürzeste Verbindung (Luftlinie). Die Erfahrung der Projektpartner bei der

Streckenanalyse zeigt, dass der tatsächliche Substratliefweg im Vergleich zur Luftlinie (Transportradius) um ca. 30% bis 70% höher ist. Ein Transportradius von 15 km kann somit in der Praxis zu einer tatsächlichen Substratliefstrecke von 19 bis 25 und mehr Kilometern führen.

Um für andere Substrate die entsprechenden Einzugsgebiet zu bestimmen und eine Vergleichbarkeit der Radien zu ermöglichen, wurde aufbauend auf dem Transportradius für Mais die Energietransportdichte bestimmt. Die Energietransportdichte beschreibt das Verhältnis zwischen im Substrat enthaltener Energie bzw. Biogaserzeugungsmengen (Methangasertrag) und dem Transportradius. Für Mais ergibt sich eine Energietransportdichte (kurz ETD) von $7,07 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 / (\text{t(FM)} \text{ km})$. Diese ermittelte Energietransportdichte wurde ebenso für die anderen Substrate angesetzt. In Abhängigkeit von dem jeweiligen substratspezifischen Methangasertrag (MGE) können darauf aufbauend die durchschnittlichen, maximalen Transportradien berechnet werden.

$$R_{\text{Max},i} = \frac{\text{MGE}_i}{\text{ETD}}$$

Eine Übersicht zu den ermittelten Transportradien ist in Tabelle 16 gegeben.

Tabelle 16: Durchschnittliche, maximale Transportradien in Abhängigkeit vom Substrat

Substratzweig	Substrat	MGE in Nm ³ /t FM	maximaler Transportradius in km
Landwirtschaft	Mais	106,0 ¹⁾	15,0
	Gülle	14,5 ¹⁾	2,1
Bierproduktion	Treber	61,0 ¹⁾	8,6
Weinproduktion	Trester	49,0 ¹⁾	6,9
Fleischverarbeitung	Schlachtreste	87,6 ²⁾	12,4
Milchproduktion	Molke	18,0 ¹⁾	2,6
Zuckerproduktion	Rübenschnitzel	64,0 ¹⁾	9,1
Kartoffelverarbeitung	Kartoffelschalen	66,0 ¹⁾	9,3
Biodieselproduktion	Glycerin	147,0 ³⁾	20,8
Bioethanolproduktion	Schlempe	22,0 ¹⁾	3,1
Rapsölproduktion	Rapspresskuchen	317,0 ¹⁾	44,9
Supermärkte	Supermarktreste	57,0 ¹⁾	8,1
Straßen- und Autobahnmeistereien	Straßenbegleitgrün	43,0 ¹⁾	6,1

¹⁾ [BMV 2012]

²⁾ [JAGD 2011]

³⁾ [FNR 2010]

MGE = Methangasertrag

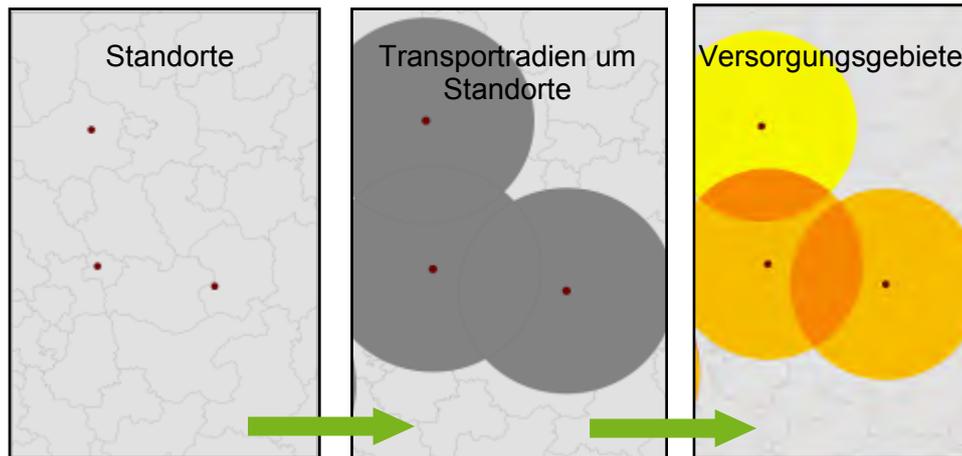


Abbildung 28: Ermittlung der Transportradien und Versorgungsgebiete um Standorte

6.1.2 Abschätzung der wirtschaftlichen Einsatzfähigkeit von Substraten anhand des Marktpreises

Die Bewertung der wirtschaftlichen Einsatzfähigkeit jedes einzelnen Substrates in Biogasanlagen ist sehr schwierig, da für einen Großteil der Substrate kein deutschlandweiter, einheitlicher Preis bzw. Markt existiert. Zudem unterscheiden sich die Energiegehalte, Biogaserträge und Vergärbarkeiten der unterschiedlichen Substrate z.T. sehr stark voneinander. Um dennoch eine Aussage zur wirtschaftlichen Einsetzbarkeit der Substrate zu geben, wurde in dieser Studie eine Abschätzung durchgeführt, welche auf folgenden Faktoren basiert:

- Marktpreis
- Methangasertrag
- EEG-Vergütung

Der aktueller Marktpreis (in Euro je Tonne Frischmasse) allein sagt nur wenig über die Wirtschaftlichkeit bzw. die Einsetzbarkeit von Substraten in Biogasanlagen aus, da einerseits die Substratpreise Schwankungen unterworfen sind und andererseits der Energiegehalt des Substrates berücksichtigt werden muss. Durch Verrechnung des Marktpreises mit dem spezifischen Methangasertrag des Substrates kann der spezifische Methangaspreis errechnet werden. Teilweise sind Substrate kostenfrei zu beziehen, weshalb auch der spezifische Methangaspreis null sein kann.

Wie hoch die endgültigen Substratkosten an den Gesamtkosten einer Biogasanlage sein können, hängt von sehr vielen Faktoren ab (Biogasmengen, benötigte Technik, erzielbare Einnahmen etc.). Für alle deutschen Biogasanlagen ist jedoch gleich, dass eine EEG-Vergütung angestrebt wird.

Durch einen Vergleich des spezifischen Methangaspreises mit der EEG-Vergütung für das jeweilige Substrat, ist eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit möglich. Niedrige Anteile der Substratkosten an den EEG-Einnahmen führen dabei zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit bei der Biogasnutzung.

In Tabelle 17 sind die Preise der einzelnen Substrate und der Vergleich zur EEG-Vergütung 2009 und 2012 nachzuvollziehen. Zur besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Substrate ist der strombezogene Substratpreis (pro kWh elektrischen Strom) errechnet worden. Dieser bestimmt sich aus dem spezifischen Substratpreis und dem elektrischen Wirkungsgrad bei der EEG-Stromerzeugung. Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurde dieser einheitlich mit 36 % angesetzt. Die durchschnittliche EEG-Vergütung wurde für einen Biogasleistungsbereich von 75-1.000 kW gemittelt. Bei der EEG-Vergütung des Jahres 2009 ist zudem ein KWK-Anteil von 30 % unterstellt worden. Das Ziel dieser allgemeinen Abschätzung ist es, eine deutschlandweit einheitliche Aussage zu treffen, wo die EEG-Einnahmen in niedrigem oder hohem Maße für den Substrateinkauf verwendet werden müssen. Aufbauend auf diesen Annahmen wird der durchschnittliche Anteil jedes Substrates an der EEG-Vergütung von 2009 und 2012 ermittelt.

Tabelle 17: Marktpreise und EEG-Vergütung der untersuchten Substrate

Substrate	Spezifischer Substratpreis in Cent/kWh	strombezogener Substratpreis in Cent/ kWhStrom	Ø EEG-Vergütung 2009 in Cent/ kWhStrom	Anteil Substratpreis an EEG-Vergütung 2009	Ø EEG-Vergütung 2012 in Cent/ kWhStrom	Anteil Substratpreis an EEG-Vergütung 2012
Biertreber	1,90	5,27	17,57	30 %	14,3	37 %
Biomüll	0	0	11,07	0 %	16,0	0 %
Dauergrünland	3,42	9,50	19,30	49 %	20,3	47 %
Erntereste (Blätter)	0	0	11,07	0 %	20,3	0 %
Erntereste (Stroh)	1,76	4,90	19,30	25 %	22,3	22 %
Geflügelgülle	0	0	17,57	0 %	20,3	0 %
Getreideschlempe	2,36	6,55	17,57	37 %	14,3	46 %
Glycerin	5,48	15,21	17,57	87 %	14,3	106 %
Grassilage	3,42	9,50	19,30	49 %	20,3	47 %
Grünschnitt	0	0	19,30	0 %	22,3	0 %
Kartoffelschalen	0,61	1,69	17,57	10 %	14,3	12 %
Maissilage	3,19	8,86	17,57	50 %	20,3	44 %
Marktabfälle	0,88	2,45	11,07	22 %	14,3	17 %
Melasse	8,79	24,41	11,07	221 %	14,3	171 %
Molke	1,96	5,43	11,07	49 %	14,3	38 %

Tabelle 17: Marktpreise und EEG-Vergütung der untersuchten Substrate (Fortsetzung)

Substrate	Spezifischer Substratpreis in Cent/kwh	strombezogener Substratpreis in Cent/kWhStrom	Ø EEG-Vergütung 2009 in Cent/kWh-Strom	Anteil Substratpreis an EEG-Vergütung 2009	Ø EEG-Vergütung 2012 in Cent/kWh-Strom	Anteil Substratpreis an EEG-Vergütung 2012
Rapskuchen	5,55	15,43	17,57	88 %	14,3	108 %
Restmüll	0	0	11,07	0 %	16,0	0 %
Rinder- und Schweinegülle¹⁷	0	0	17,57	0 %	20,3	0 %
Rübenschnitze	0,24	0,65	17,57	4 %	14,3	5 %
Schlachtreste	0	0	11,07	0 %	14,3	0 %
Speisereste	0,88	2,45	11,07	22 %	14,3	17 %
Straßenbegleitgrün	0	0	19,30	0 %	22,3	0 %
Weintrester	1,47	4,07	17,57	23 %	14,3	28 %

Basierend auf diesen Kennzahlen erfolgt eine Abschätzung, wie wirtschaftlich der Einsatz des jeweiligen Substrates in einer Biogasanlage ist. Unter der Annahme, dass für einen wirtschaftlichen Biogasanlagenbetrieb der Substratkostenanteil maximal 50 % der EEG-Vergütung betragen und maximal 70 % der EEG-Einnahmen umfassen soll, wurde für jedes Substrat entsprechend des jeweiligen Substratkostenanteils der Anteil vom technischen Potenzial abgeschätzt, welcher wirtschaftlich in Biogasanlagen einsetzbar ist. Je niedriger dabei der Anteil der Substratkosten an der EEG-Vergütung ist, desto höher ist die wirtschaftliche Verfügbarkeit. Zukünftig ist davon auszugehen, dass die EEG-Vergütung sinken wird. Bei einem Anteil des Substratpreises an der EEG-Vergütung von über 70 % ist davon auszugehen, dass dieses Substrat nicht zu wirtschaftlichen Bedingungen in eine Biogasanlage eingesetzt werden kann. *Somit sind Glycerin, Rapspresskuchen sowie Melasse als Substrate aus ökonomischer Sicht für die Biogaserzeugung ungeeignet.*

¹⁷ Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse zwischen Rohgülle und Gärprodukt zeigt eine geringe Wertsteigerung infolge des Fermentationsprozesses, da das Gärprodukt höhere massenspezifische Nährstoffkonzentration als Rohgülle aufweist und damit einen höheren Düngewert hat (z.B. Wertsteigerung bei Rindergülle: Rohgülle 9 Euro/t(FM), Gärprodukt 10 Euro/t(FM)). Regional kann es zwar möglich sein, dass keine Wertsteigerung realisiert werden kann, da die Gärprodukte nicht genutzt werden können, aber im bundesweiten Durchschnitt ist eine Wertsteigerung zu erwarten. Der Bezug von tierischen Exkrementen wird somit als kostenfrei angesetzt.

Tabelle 18: Anteil der wirtschaftlichen Verfügbarkeit am technischen Potenzial der untersuchten Substrate

Substrate	Anteil wirtschaftliche Verfügbarkeit am technischen Potenzial
Biertreber	81 %
Biomüll	100 %
Dauergrünland	73 %
Erntereste (Kartoffel-, Rübenblatt)	100 %
Erntereste (Getreide-, Rapsstroh)	86 %
Geflügelgülle	100 %
Getreideschlempe	76 %
Glycerin	0 %
Grassilage	73 %
Grünschnitt	100 %
Kartoffelschalen	94 %
Maissilage	73 %
Marktabfälle	89 %
Melasse	0 %
Molke	75 %
Rapskuchen	0 %
Restmüll	100 %
Rindergülle	100 %
Rübenschnitzel	98 %
Schlachtreste	100 %
Schweinegülle	100 %
Speisereste	89 %
Straßenbegleitgrün	100 %
Weintrester	85 %

Wie aus nachfolgender Tabelle ersichtlich, fallen bei der Ausbereitung von Biogas auf Erdgasqualität weitere Kosten an. Die letztendlichen Kosten hängen dabei insbesondere vom eingesetzten Substrat (großer Einfluss auf die Rohgasgestehungskosten) und der Anlagengröße (insb. bei der Biogasaufbereitungsanlage) ab.

Tabelle 19: Kostenpositionen Biogasaufbereitung/ -einspeisung [UMSICHT 2010], [FNR 2012d]

Kostenposition	Kosten in Cent/ kWh H _{s,n}
Rohgasgestehungskosten	5,00 – 6,00
Biogasaufbereitung	1,40 – 2,30
Netzanschluss	0,10 – 0,20
Netznutzung	0,45 – 0,80
Bilanzkreismanagement	0,12 – 0,22
Vermiedene Netzkosten	-0,7
Summe Biomethangestehungskosten	6,37 – 8,82

Ein Vergleich der Biomethaneinspeisung mit der Verstromung und gleichzeitiger Wärmenutzung (Kraft-Wärme-Kopplung mittels BHKW) zeigt ein differenziertes Bild. Die Erlöse für Rohbiogas liegen bei einer Vor-Ort-Verstromung mit KWK und 100 % Wärmenutzung stets über den Erlösen bei Einspeisung. Reduziert sich jedoch der Anteil der Wärmenutzung so wird bei entsprechender Rohgasmenge die Einspeisung wirtschaftlicher. Ist also ein sinnvolles Wärmekonzept am Ort der Biogaserzeugung vorhanden, so ist dieser Nutzungspfad der Biogaseinspeisung vorzuziehen. Ist kein effizientes Wärmekonzept am Ort der Biogaserzeugung vorhanden, so bei entsprechend hohen Biogasmengen eine Biomethaneinspeisung vorzuziehen.

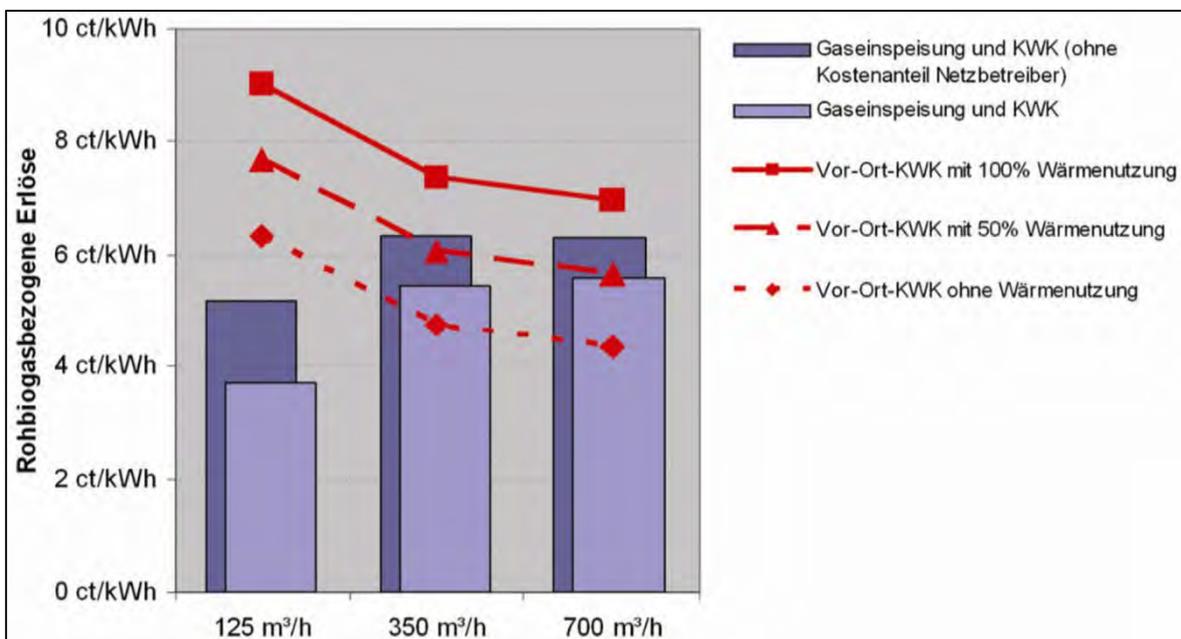


Abbildung 29: Vergleich Biomethaneinspeisung mit Vor-Ort-Verstromung (NawaRo-, Gülle- und Luftreinhaltebonus) [URBAN 2010]

6.2 Landwirtschaftliches Biogaspotenzial

Landwirtschaftliche Einsatzstoffe bilden den Großteil der in Biogasanlagen eingesetzten Substrate ab. Dazu zählen tierische Exkremente/Gülle, Mais, Grünschnitt aus Dauergrünland, Stroh und weitere Erntereste (Kartoffel- und Rübenblatt). Eine Übersicht zu den untersuchten Substraten ist in Abbildung 30 zu finden.

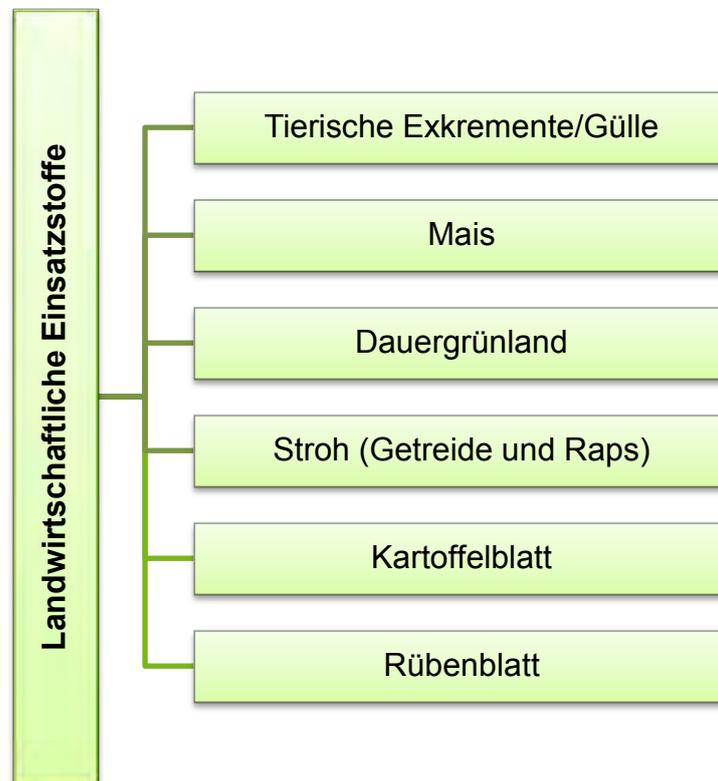


Abbildung 30: Betrachtete landwirtschaftliche Substrate zur Erzeugung von Biogas

6.2.1 Tierische Exkremente/Gülle

Tierische Exkremente kommen in den meisten Biogasanlagen als Haupt- oder Kosubstrat zum Einsatz [FNR 2010]. Die Biogasanlage befindet sich dabei i.d.R. in unmittelbarer Nähe zum Tierstall. Eine standortgenaue Ermittlung der einzelnen Ställe und somit eine exakte regionale Ermittlung des Exkrementeanfalls ist aufgrund der öffentlich zugänglichen Datenlage schwierig. Deutschlandweit liegen keine frei zugänglichen, flächendeckenden, standortgenauen Daten vor, da zum einen der Datenschutz den Zugriff auf die Daten verhindert und zum anderen kleinbäuerliche Ställe nicht in jeder Statistik erfasst sind. Um den Gülleanfall trotzdem möglichst standortgenau zu bestimmen, wurden Daten aus unterschiedlichen Quellen und mit unterschiedlichem Detailgrad miteinander verschnitten/kombiniert:

- (1) Standortdaten (größerer) Ställe
- (2) Gemeindedaten
- (3) Landkreisdaten

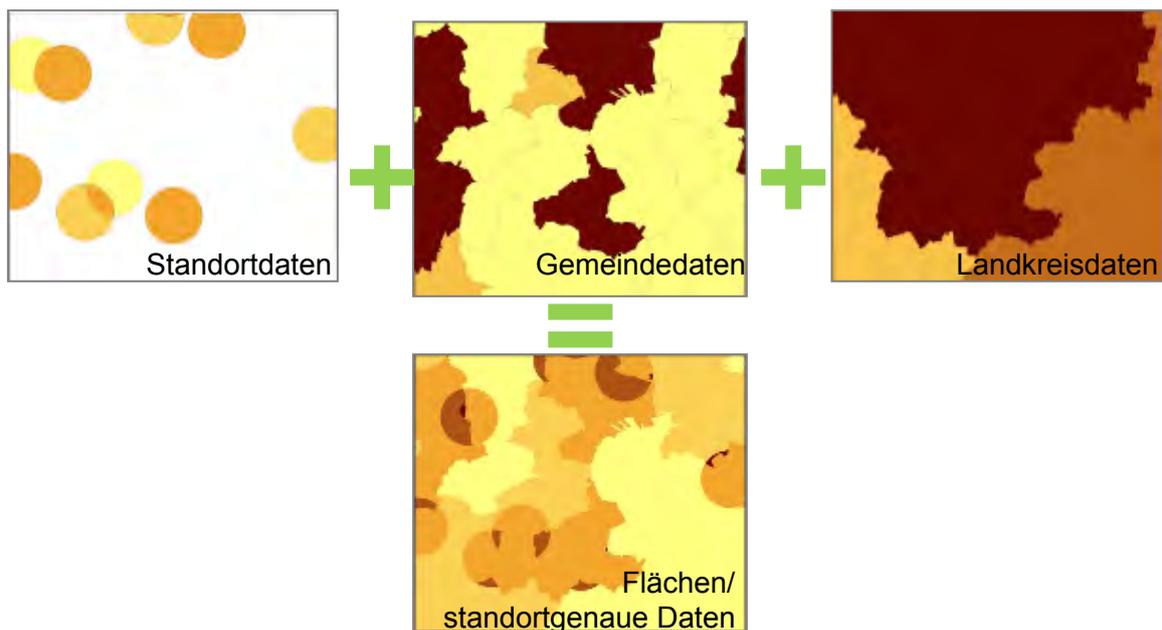


Abbildung 31: Ermittlung standort-/flächengenaue Stalldaten

Aus den Tierzahlen bzw. der anfallenden Menge tierischer Exkremente (vgl. Tabelle 20, Tabelle 21) werden mit Hilfe der spezifischen Methangaserträge (Rindergülle: $17 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$, Schweinegülle: $12 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [BMV 2012], Geflügelgülle: $45,6 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [SMUL 2003]) die regionalen Methangaserträge berechnet. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren erfolgt anschließend die Ermittlung des *theoretischen Potenzials*. Dieses beträgt $2,3 \text{ Mrd. Nm}^3 \text{ Biomethan}$ bzw. $82,3 \text{ PJ}$ pro Jahr.

Zur Berechnung des technischen Potenzials wird die Stallhaltungsquote berücksichtigt, da eine sinnvolle Nutzung dieser Substrate nur möglich ist, wenn die Exkremente zentral innerhalb von Ställen gesammelt und zur Biogasanlage geleitet werden können. Bei Rindern leben in den vier Wintermonaten 85% und in der restlichen Zeit des Jahres 60% der Tiere in Ställen [THRÄN 2005]. Dies ergibt eine Stallquote von durchschnittlich 68% bei Rindern. Die gleiche Stallhaltungsquote gilt auch für Geflügel [THRÄN 2005]. Schweine werden zu 100% im Stall gehalten [THRÄN 2005].

Unter Berücksichtigung der Stallhaltungsquote sowie Lager- (2%) und Entnahmeverlusten (1%) ergibt sich ein *technisches Potenzial* von $1,6 \text{ Mrd. Nm}^3 \text{ Biomethan}$ bzw. $57,3 \text{ PJ}$ pro Jahr.

Tierische Exkremente können aufgrund ihrer Zusammensetzung (sehr) gut für die Biogaserzeugung genutzt werden. Weitere Aufbereitungsschritte sind nicht notwendig. Zudem ist dieses Substrat sehr kostengünstig. Das *wirtschaftliche Potenzial* entspricht somit dem technischen Potenzial.

Tabelle 20: Potenziale aus Rindergülle

Bundesland	Anzahl Rinder	Exkrementmenge in t(FM)/a	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a	
			theor.	techn./wirtsch.
Baden-Württemberg	1.030.130	12.878.420	158.917.150	104.843.370
Bayern	3.063.680	42.213.100	463.589.120	305.846.430
Berlin	450	5.530	52.820	34.850
Brandenburg	566.310	7.367.030	70.888.660	46.767.800
Bremen	8.980	138.640	1.442.580	951.720
Hamburg	6.600	75.380	719.790	474.870
Hessen	474.400	6.003.910	63.857.060	42.128.800
Mecklenburg-Vorpommern	543.560	6.995.140	86.620.740	57.146.820
Niedersachsen	2.517.770	28.267.940	279.191.830	184.192.900
Nordrhein-Westfalen	1.346.490	15.420.690	220.673.520	145.586.270
Rheinland-Pfalz	382.800	4.922.940	46.825.460	30.892.440
Saarland	52.950	660.190	6.981.630	4.606.030
Sachsen	482.830	6.705.580	74.398.780	49.083.550
Sachsen-Anhalt	334.830	4.464.040	42.740.000	28.197.120
Schleswig-Holstein	1.149.370	13.431.110	162.586.480	107.264.160
Thüringen	341.980	4.467.540	47.418.970	31.284.000
Deutschland, gesamt	<i>12.303.120</i>	<i>154.017.200</i>	<i>1.726.904.600</i>	<i>1.139.301.130</i>

Tabelle 21: Potenziale aus Schweinegülle

Bundesland	Anzahl Schweine	Exkrementmenge in t(FM)/a	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a	
			theor.	techn./wirtsch.
Baden-Württemberg	2.516.580	3.087.670	42.842.390	41.565.690
Bayern	4.155.600	4.890.600	67.239.990	65.236.240
Berlin	50	140	1.370	1.330
Brandenburg	808.200	1.154.060	8.978.830	8.711.260
Bremen	400	880	14.530	14.100
Hamburg	590	1.200	11.660	11.310

Tabelle 21: Potenziale aus Schweinegülle (Fortsetzung)

Bundesland	Anzahl Schweine	Exkrementmenge in t(FM)/a	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a	
			theor.	techn./wirtsch.
Hessen	795.970	1.045.750	13.302.410	12.906.000
Mecklenburg-Vorpommern	752.150	1.012.480	6.388.040	6.197.670
Niedersachsen	8.201.710	10.764.110	121.812.440	118.182.430
Nordrhein-Westfalen	6.358.080	5.159.540	144.058.250	139.765.320
Rheinland-Pfalz	297.590	390.420	3.724.980	3.613.980
Saarland	15.500	23.060	239.750	232.610
Sachsen	609.000	862.680	5.918.910	5.742.530
Sachsen-Anhalt	1.002.980	1.386.170	15.542.680	15.079.510
Schleswig-Holstein	1.519.690	1.980.050	21.385.530	20.748.250
Thüringen	765.000	1.027.320	5.374.850	5.214.680
Deutschland, gesamt	27.799.080	32.786.130	456.836.620	443.222.890

Tabelle 22: Potenziale aus Geflügelgülle

Bundesland	Anzahl Geflügel	Exkrementmenge in t(FM)/a	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a	
			theor.	techn./wirtsch.
Baden-Württemberg	4.728.020	97.100	3.574.260	2.358.070
Bayern	10.502.010	151.980	10.302.330	6.796.820
Berlin	780	10	400	270
Brandenburg	8.480.530	117.300	4.205.840	2.774.740
Bremen	4.280	50	5.790	3.820
Hamburg	3.490	80	3.020	12.000
Hessen	1.679.780	39.200	1.322.610	2.358.070
Mecklenburg-Vorpommern	7.893.910	90.290	2.760.060	1.820.910
Niedersachsen	57.215.910	701.250	30.725.730	20.270.870
Nordrhein-Westfalen	10.133.140	149.970	9.868.430	6.510.560
Rheinland-Pfalz	1.674.750	18.910	579.210	382.130
Saarland	168.010	3.150	267.460	176.450

Tabelle 22: Potenziale aus Geflügelgülle (Fortsetzung)

Bundesland	Anzahl Geflügel	Exkrementmenge in t(FM)/a	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a	
			theor.	techn./wirtsch.
Sachsen	9.175.450	171.270	3.787.680	2.498.870
Sachsen-Anhalt	9.805.360	127.830	3.414.300	2.252.540
Schleswig-Holstein	2.836.250	37.670	730.000	481.610
Thüringen	3.837.090	60.920	1.960.920	1.293.690
Deutschland, gesamt	128.138.750	1.766.970	73.508.030	48.495.890

In Abbildung 32 sind die Gebiete Deutschlands deutlich zu erkennen, in denen verstärkte Viehhaltung betrieben wird. Vor allem im Nordwesten sowie im Süden von Deutschland ist dadurch ein sehr großes Biogaspotenzial aus Gülle zu verzeichnen.

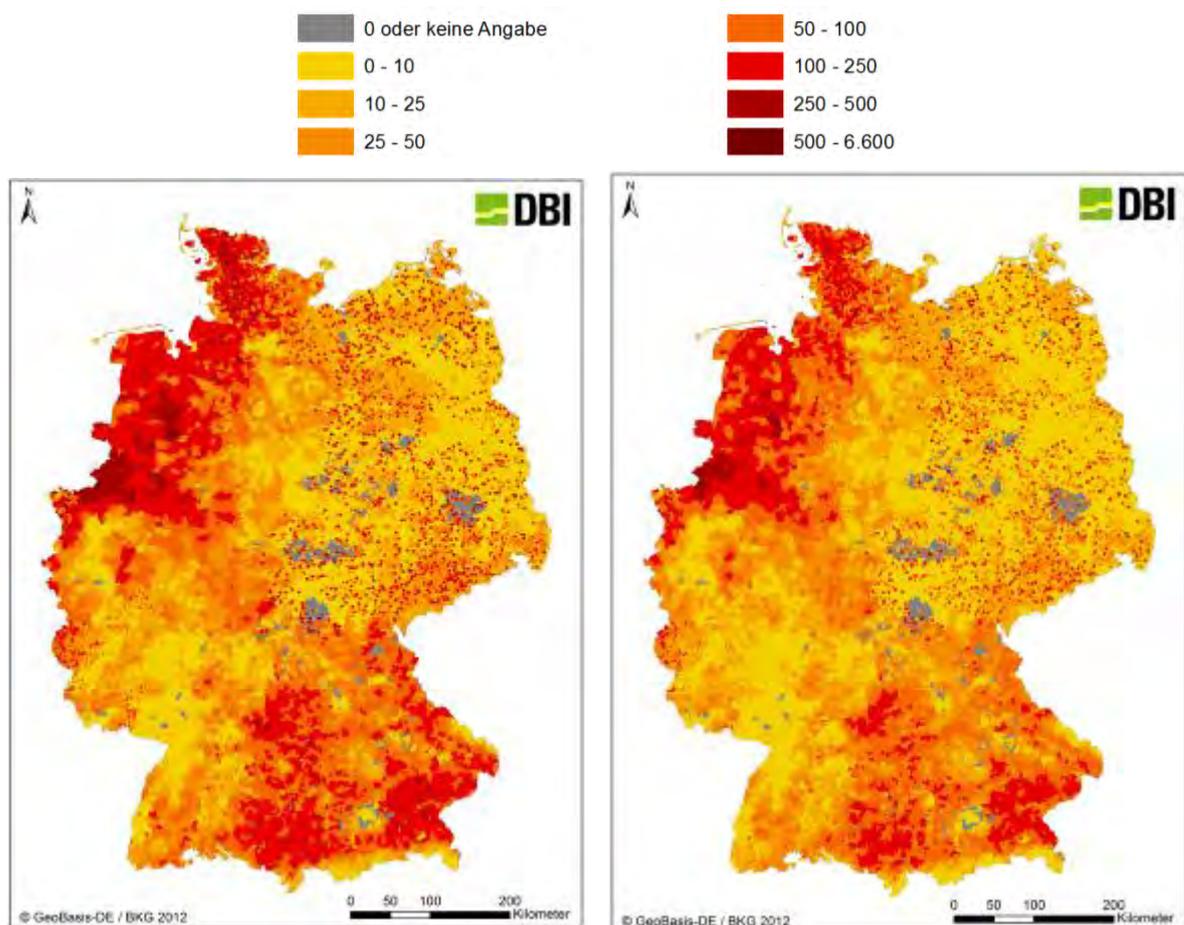


Abbildung 32: Theoretisches (links) und technisches/wirtschaftliches (rechts) Biome-thanpotenzial von tierischen Exkrementen in Nm³ CH₄/ha

Zahlreiche Studien befassen sich mit dem Biogaspotenzial aus Gülle bzw. Exkrementen. Ein Vergleich der ermittelten Potenziale ist in Abbildung 34 zu finden. Der Großteil der Studien weist dabei ein höheres Potenzial, als im DVGW-Biogasatlas, aus. Der Grund hierfür liegt einerseits darin begründet, dass andere Studien neben der Gülle bzw. den Exkrementen auch Einstreu und andere Festmistbestandteile mit berücksichtigen. Diese werden im vorliegenden Potenzialatlas separat betrachtet (vgl. Kapitel 6.2.4). Andererseits basieren einige Potenzialermittlungen auf älteren Daten. Die Anzahl gehaltener Rinder nimmt in den letzten Jahren kontinuierlich ab (s. Abbildung 33), dabei stellt Rindergülle mit etwa 75 % den größten Anteil des theoretischen Gülle-Potenzials der vorliegenden Studie dar. Das Biogaspotenzial ist somit in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken.

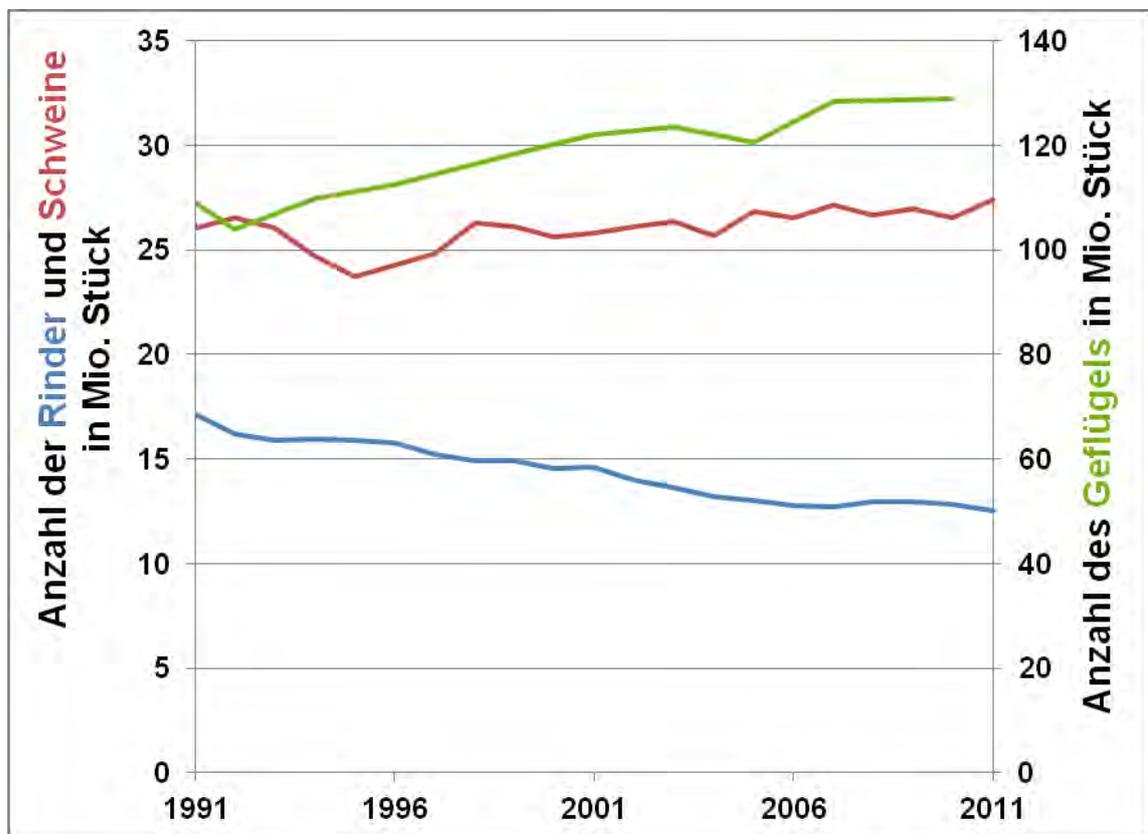


Abbildung 33: Entwicklung des Viehbestandes in Deutschland [STB 2012g]

Der Maximalwert von [FNR 2011] mit 2,9 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr (103,8 PJ pro Jahr) beinhaltet z.B. auch Ernterückstände. In [BMU 2008] sind zudem Festmistanteile (Einstreu) mit enthalten. Die Studie [FNR 2011] weist das höchste Potenzial aus. Der Grund hierfür liegt in einer überschlägigen Rechnung und Randbedingungen, welche nicht näher erläutert werden.

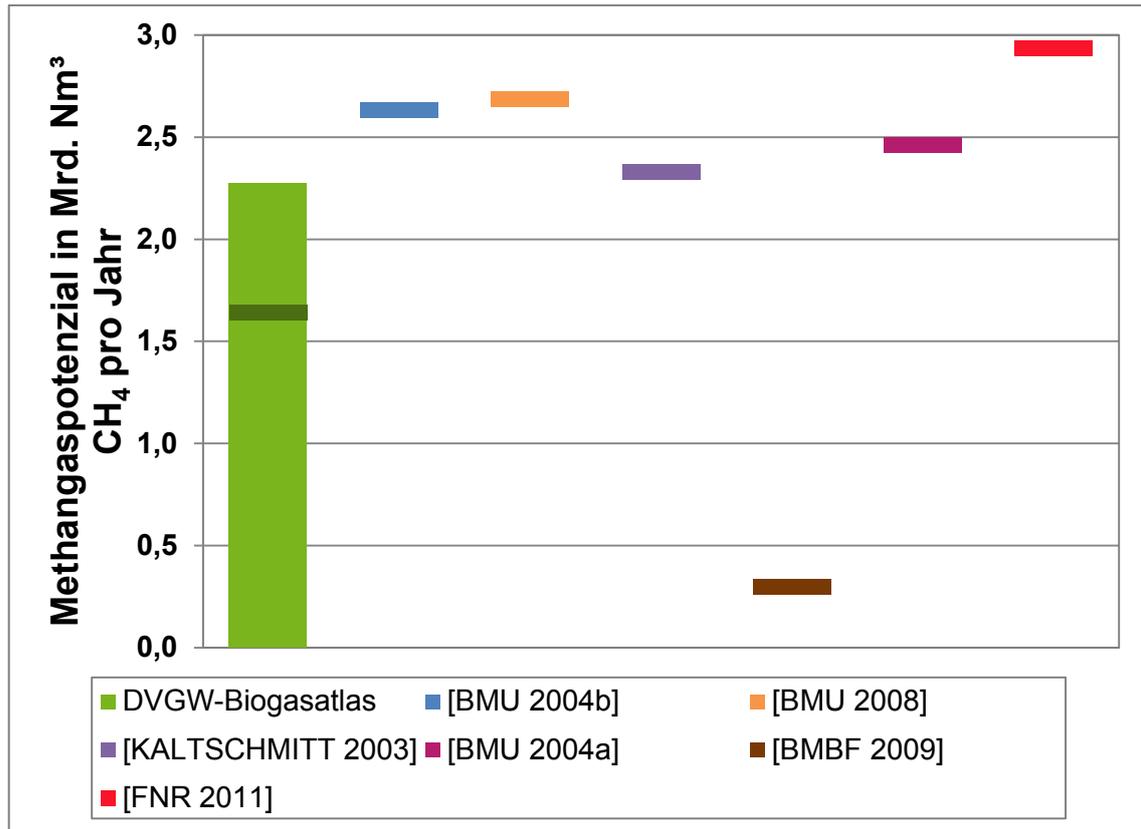


Abbildung 34: Biomethangaspotenzial aus Gülle im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Tierische Exkreme/Gülle

Die Entwicklung tierischer Exkreme ist proportional zur Tieranzahl der jeweiligen Tierart. Die Umrechnung erfolgt mittels tierspezifischer Werte für den Gülleanfall [KTBL LW 2009]. Während Schweine und Geflügel in den letzten Jahren einen Zuwachs erfahren haben, sinken die Rinderzahlen kontinuierlich. Für die Prognose der Rinderzahlen wird eine Regression in Anlehnung an [ISPA 2006] verwendet. Der jährliche Rückgang sinkt dabei bis 2030 von 1,5 % auf 0 %. In die Entwicklung des Geflügelbestandes fließen die vergangenen 20 Jahre seit der deutschen Wiedervereinigung ein. Der jährliche Zuwachs des Geflügelbestandes wird mit maximal 0,04 % prognostiziert und klingt dabei mit der Zeit ab. Ebenso erfolgt die Prognose des Schweinebestandes. Die mittlere jährliche Zunahme bis 2030 beträgt 0,5 %. Tabelle 23 zeigt den Anfall tierischer Exkreme über mehrere Jahrzehnte.

Tabelle 23: Entwicklung des Exkrementeanfalls von 1950 bis 2010 [STB 2012g, KTBL LW 2009, eigene Berechnung]

Jahr	Rinder in m³/a	Schweine in m³/a	Geflügel in m³/a	gesamt in m³/a
1950	132.240.000	8.362.000	1.834.000	142.436.000
1960	139.230.000	11.450.000	2.307.000	152.987.000
1970	141.819.000	16.263.000	2.896.000	160.978.000
1980	167.300.000	30.407.000	2.279.000	199.987.000
1990	210.035.000	40.360.000	2.900.000	253.295.000
1999	167.116.000	34.284.000	2.652.000	204.052.000
2010	144.159.000	32.958.000	2.621.000	179.738.000

Eine Gesamtbetrachtung aller Exkremente zeigt, dass die Menge seit der Wiedervereinigung 1990 stetig abnimmt (s. Abbildung 35). Bei den genannten Annahmen sinkt dabei das Gesamtaufkommen in 2030 auf 162 Mio. m³ Exkremente pro Jahr (s. Tabelle 24).

Tabelle 24: Prognose des Exkrementeanfalls von 2010 bis 2030 [STB 2012g, KTBL LW 2009, eigene Berechnung]

Jahr	Rinder in m³/a	Schweine in m³/a	Geflügel in m³/a	gesamt in m³/a
2010	144.159.000	32.958.000	2.621.000	179.738.000
2015	134.163.000	34.877.000	2.626.000	171.667.000
2020	127.418.000	36.026.000	2.630.000	166.074.000
2030	121.989.000	36.944.000	2.633.000	161.567.000

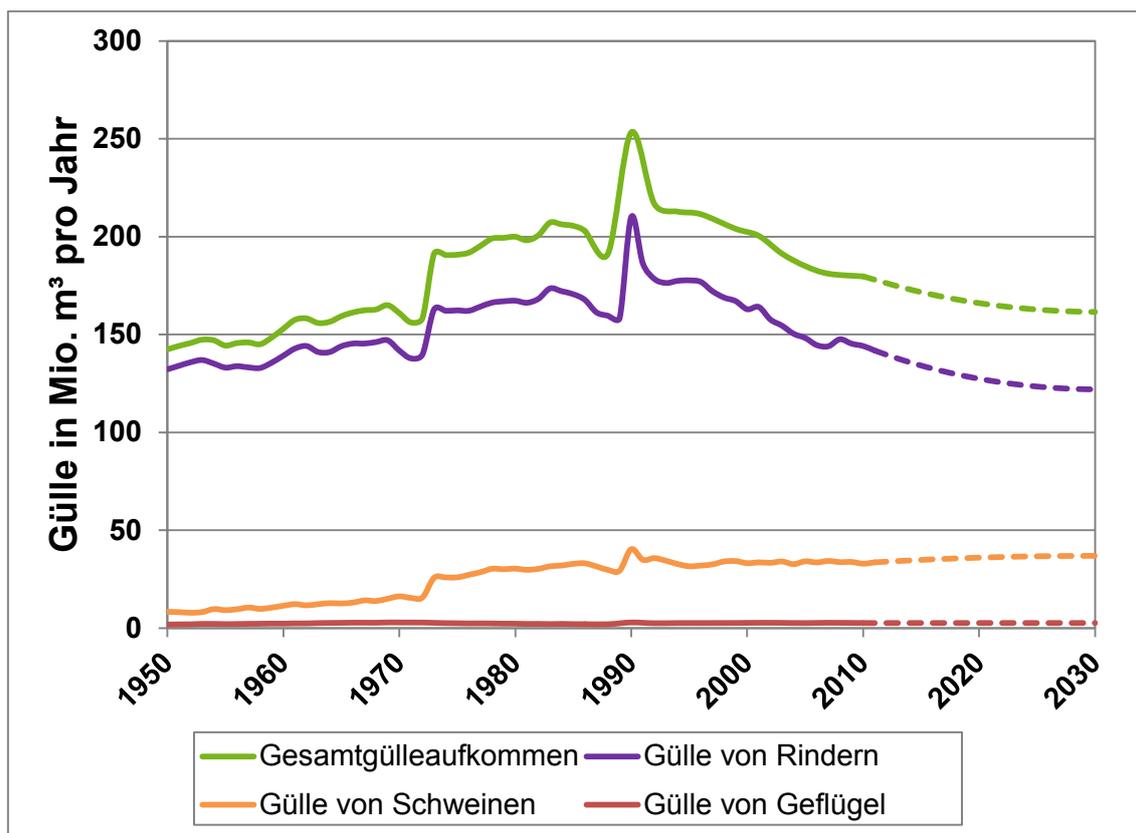


Abbildung 35: Entwicklungsprognose des Güllevorkommens bis zum Jahr 2030 [STB 2012g, KTBL LW 2009, eigene Berechnung]

Für die Regionalisierung werden die Prognosen für das gesamtdeutsche Gülleaufkommen in Methangaserträge umgerechnet und auf die Gemeindeebene prozentual aufgeteilt (Abbildung 36). Dabei bleibt die derzeitige Verteilung, d.h. das Verhältnis von Gemeinden mit hohem und zu wenig Potenzial, erhalten. Das technische Potenzial ergibt sich unter der Annahme der gleichen Abzüge wie zum derzeitigen Stand. Es fließen die Stallhaltungsquoten (Rinder und Geflügel 68 %, Schweine 100 %), Lager- (2 %), und Entnahmeverluste (1 %) ein. Das wirtschaftliche Potenzial entspricht dem technischen, da weiterhin davon ausgegangen wird, dass diese Exkremamente kostenfrei zur Verfügung stehen und somit keine wirtschaftlichen Abzüge erfolgen müssen. In Abbildung 36 sind die theoretischen Biomethanpotenziale für die untersuchten Jahre 2015, 2020 und 2030 dargestellt. Alle prognostizierten Werte sind im Anhang zu finden.

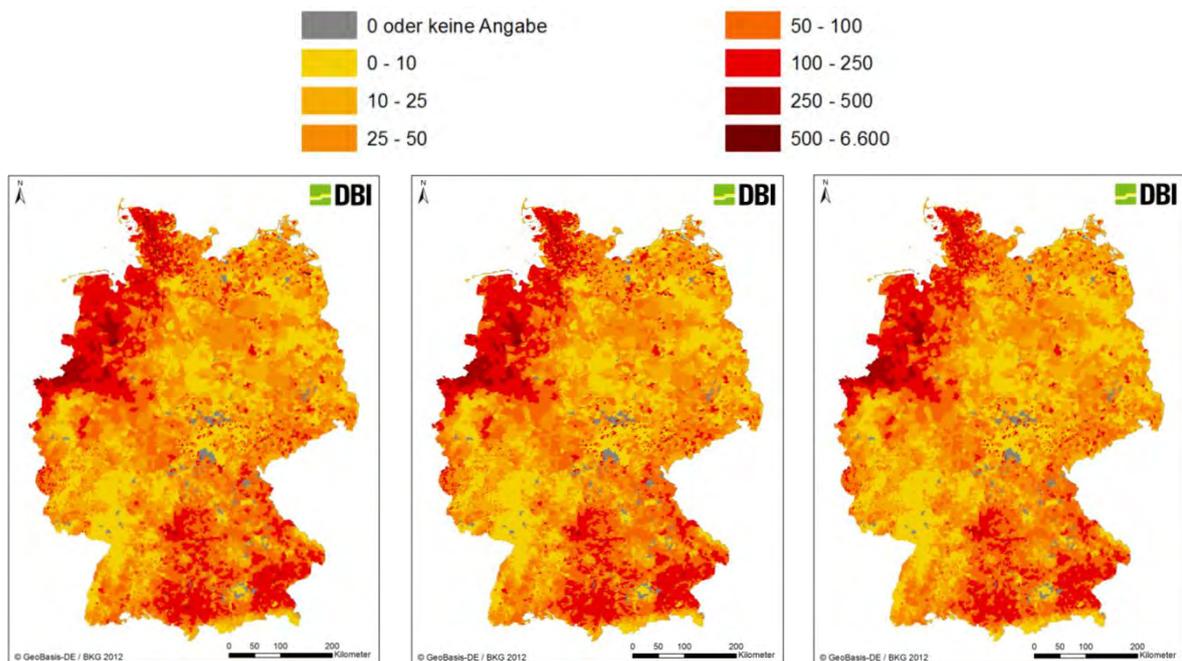


Abbildung 36: Theoretisches Biomethanpotenzial von tierischen Exkrementen in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030

6.2.2 Mais

Silomais ist eines der am meisten eingesetzten Substrate zur Biogaserzeugung. In Deutschland wurden im Jahr 2007 insgesamt 71,2 Mio. t Mais angebaut ([STB 2010d], [STB 2010e]). In folgender Abbildung ist dabei die Entwicklung der Maisanbaufläche und zum Vergleich die Entwicklung der Tierzahlen in Deutschland von 2000 bis 2010 dargestellt. Zu erkennen ist dabei, dass insbesondere nach der Novellierung des EEG im Jahr 2004 und der daraus resultierenden Biogasanlagenzunahme ein starker Flächenzuwachs erfolgte.

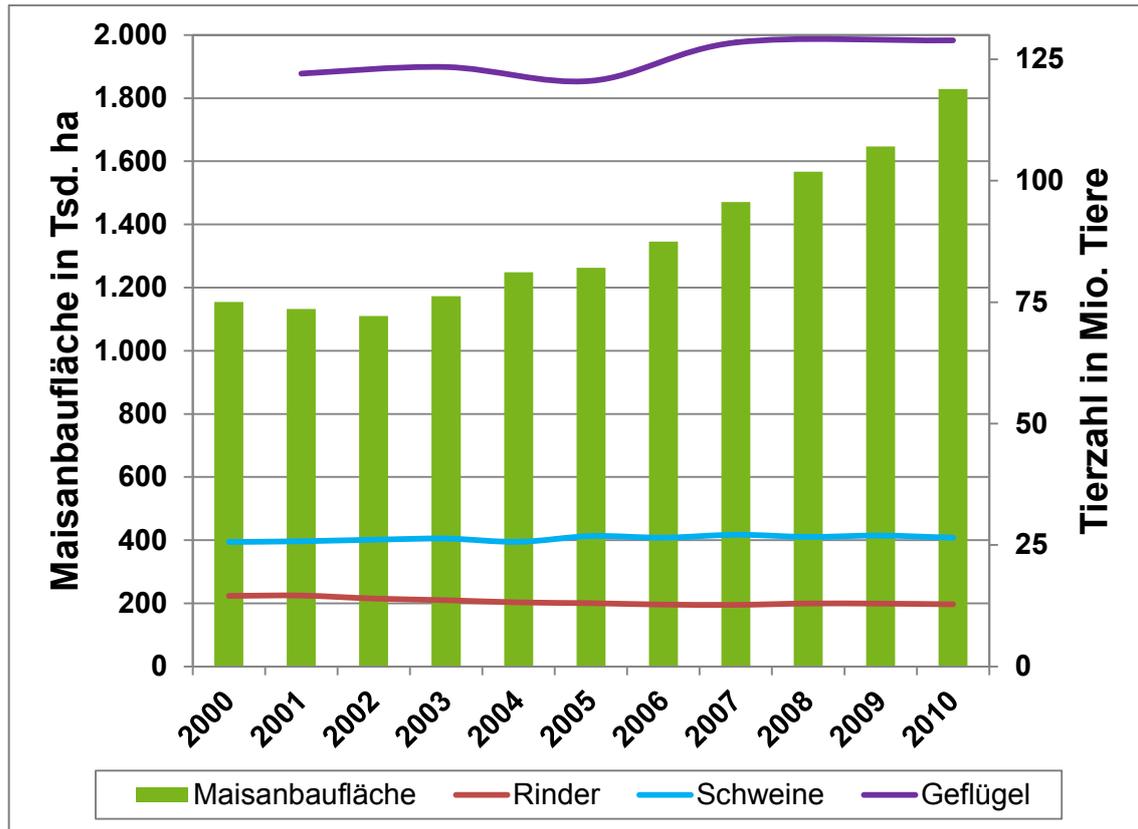


Abbildung 37: Entwicklung der Silomaisanbaufläche und der Tierzahlen (Rind, Schwein, Geflügel) von 2000 bis 2010 nach [DMK 2011]

Wie aus oben stehender Abbildung ersichtlich, wurde ab 2004 zunehmend Mais angebaut. Die Anzahl der Tiere, welche Mais als Futtermittel erhalten (Schweine, Rinder), blieb jedoch relativ konstant bzw. war rückläufig. Der Grund für den Anstieg der Maisanbaufläche ist dabei insbesondere im starken Zubau von Biogasanlagen zu sehen, zumal sich die Anbauflächen für Körnermais gemäß [DMK 2011] (Nutzung teilweise in der Futtermittel- und hauptsächlich in der Lebensmittelindustrie) seit 2004 auf einem gleichmäßigen Niveau belaufen. Die Entwicklung des Körnermaisbaus deckt sich mit den Aussagen zu den Tierzahlen, sodass der Zuwachs an Silomais klar dem Energiemais zugeordnet werden kann und in die weiteren Betrachtungen einfließt.

Für die Potenzialermittlung des Energiemais werden die Anbauflächen je Landkreis [STB 2010d] herangezogen. Es ergibt sich dabei eine Anbaufläche für Energiemais etwa 700.000 Hektar (Jahr 2010). Darauf aufbauend bestimmt der landkreisbezogene durchschnittliche Ertrag an Silomais in t/ha (Berechnung aus den Zahlen von 1999 bis 2011 [STB 2010d], deutschlandweit z.B. 434 dt/ha) die Erntemenge an Silomais. Aus Mais können gemäß [BMV 2012] $106 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ erzielt werden. Das *theoretische Potenzial* für Deutschland entspricht somit ca. 3,1 Mrd. Nm^3 Biomethan bzw. 110,9 PJ pro Jahr. Unter Beachtung von 12 % Lagerverlusten [KTBL EP 2006], die sich aus Trockenmasseverlusten (6 %), Randverlusten (5 %) und Entnahmeverlusten (1 %) zusammensetzen, ergibt sich das *technische Potenzial*. In Summe entspricht dies 2,7 Mrd. Nm^3 Biomethan bzw. 96,8 PJ pro Jahr.

Unterstellt man boden- und wasserseitige Nachhaltigkeitsfaktoren, so muss festgehalten werden, dass ein nachhaltiger Maisanbau nicht in allen Regionen von Deutschland erfolgen kann.

Entsprechend der boden- und wasserseitigen Ausführungen in den vorangegangenen Kapiteln 3 und 4 erfolgt die Bestimmung des nachhaltigen und wirtschaftlichen Potenzials anhand zweier Szenarien (s. Tabelle 9):

- business as usual
- Nachhaltige Entwicklung

Das nachhaltige Maispotenzial berücksichtigt die Forderungen von BDEW [BDEW 2012], VDLUFA [VDLUFA 2012] und dem DVGW [DVGW 2010b] und unterliegt somit folgenden Restriktionen (s. Tabelle 9):

- Einhaltung aktuelle Düngeverordnung
- Einhaltung der Ausbringungsobergrenze für organischen Stickstoff (Ackerflächen: 120 kg/ha; Grünland 170 kg/ha)
- Bilanzierung mithilfe der Nettoausscheidungsrate der Tiere unter Berücksichtigung der atmosphärischen Deposition
- Einhaltung der die Ausbringung betreffenden Flächenrestriktionen

Aus der Kombination der aktuellen Maisanbauzahlen mit den Ergebnissen aus den Kapitel 3.3.3 und 3.3.4 resultiert das wirtschaftliche Potenzial für die beiden genannten Szenarien. Abbildung 38 fasst die gesamtdeutschen Maisanbauflächen in den verschiedenen Potenzialstufen und den unterschiedlichen Szenarien zusammen. Insgesamt wird in Deutschland auf ca. 1,8 Mio. ha Mais für die Nahrungs- und Futtermittelindustrie sowie die Biogaserzeugung angebaut. Der Maisbedarf für die bestehenden Biogasanlagen beträgt hierbei etwa 700.000 ha. Demzufolge liegt der Anteil des Energiemaisanbaus bei unter 40 % des gesamten Maisanbaus. Sowohl für das Szenario „business as usual“ als auch „Nachhaltige Entwicklung“ wird deutschlandweit eine deutlich größere maximale Anbaufläche ausgewiesen. Somit ist ein zukünftiges Ausbaupotenzial vorhanden (s. Abschnitt Prognose Mais). Dennoch erfüllen derzeit nicht alle Flächen die Bedingungen der beiden Szenarien, sodass die zur Verfügung stehende Anbaufläche unter 700.000 ha liegt. Ein Vergleich mit anderen Publikationen zeigt, dass die beiden Szenarien die möglichen Entwicklungen weitestgehend eingrenzen. Demzufolge ist davon auszugehen, dass die maximale Energiemaisanbaufläche in anderen Studien zwischen 2,6 Mio. und 6,1 Mio. ha liegt. So z.B. in [BMELV 2011], worin eine Zunahme der Anbaufläche für Bioenergiepflanzen bis auf 4 Mio. ha beschrieben wird.

Tabelle 25: Maisanbauflächen und wirtschaftliches Potenzial der Szenarien "business as usual" und "Nachhaltige Entwicklung"

Szenario	„business as usual“	„Nachhaltige Entwicklung“
maximale Anbaufläche Mais (Potenzial Nährstoffmodell, Kapitel 3.3)	7,0 Mio. ha	3,3 Mio. ha
davon maximal Energiemais	6,1 Mio. ha	2,6 Mio. ha
bei den unterstellten Rahmenbedingungen verfügbare Fläche	0,5 Mio. ha	0,4 Mio. ha
derzeit zur Verfügung stehende Substratmenge	22 Mio. t _{FM}	16 Mio. t _{FM}
wirtschaftliche Potenzial	2,0 Mrd. Nm ³ CH ₄ /a	1,5 Mrd. Nm ³ CH ₄ /a

Ein Vergleich auf Landkreisebene zeigt deutlich, dass die aktuelle Anbaufläche sich nicht komplett mit den potenziellen Anbauflächen der Szenarien deckt. So kann beispielsweise für das Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ nur auf ca. 400.000 ha der aktuell 700.000 ha genutzten Ackerfläche Energiemais angebaut werden. Demzufolge sind auf 300.000 ha der aktuell mit Energiemais bepflanzten Fläche die oben genannten Nachhaltigkeitskriterien nicht erfüllt. Insbesondere die Gärproduktausbringung ist dabei kritisch, da in diesen Regionen oft bereits ein Nährstoffüberschuss durch Gülle aus intensiver Viehhaltung besteht und oft auch der Futtermaisanbau nicht den hier beschriebenen Nachhaltigkeitsanforderungen entspricht. In diesen Regionen müssten somit andere Gärproduktnutzungspfade besprochen werden, um das Biogaspotenzial zu heben.

Somit ergibt sich ein *wirtschaftliches Potenzial* unter Berücksichtigung des aktuell geltenden Rechts (business as usual) von 2,0 Mrd. Nm³ CH₄/a bzw. 73,1 PJ pro Jahr. Werden die Restriktionen verschärft (Szenario „Nachhaltige Entwicklung“) verringert sich die potenzielle Anbaufläche und das *wirtschaftliche und nachhaltige Potenzial* beträgt 1,5 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 53,4 PJ pro Jahr. Deutschlandweit ist damit jedoch nicht die Anbaufläche auf 400.000 ha begrenzt. In vielen anderen Regionen, wo aktuell kein oder nur ein geringer Energiemaisanbau erfolgt, könnte ein Ausbau erfolgen. Dieser würde alle oben genannten Nachhaltigkeitskriterien erfüllen. Die dabei zu Verfügung stehenden Flächen und resultierenden Biogaserträge werden nachfolgend im Unterkapitel „Prognose Mais“ vorgestellt.

Die gesamtdeutsche Betrachtung zeigt, dass der Maisanbau auch unter Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien ausgebaut werden kann (vgl. Prognose Mais). Dennoch gibt es bereits heute Regionen, in welchen ein hoher Maisanbau unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten kritisch ist. Die Gebiete, in welchen ein Maisanbau unter den genannten Restriktionen möglich ist, sind in Abbildung 38 dargestellt.

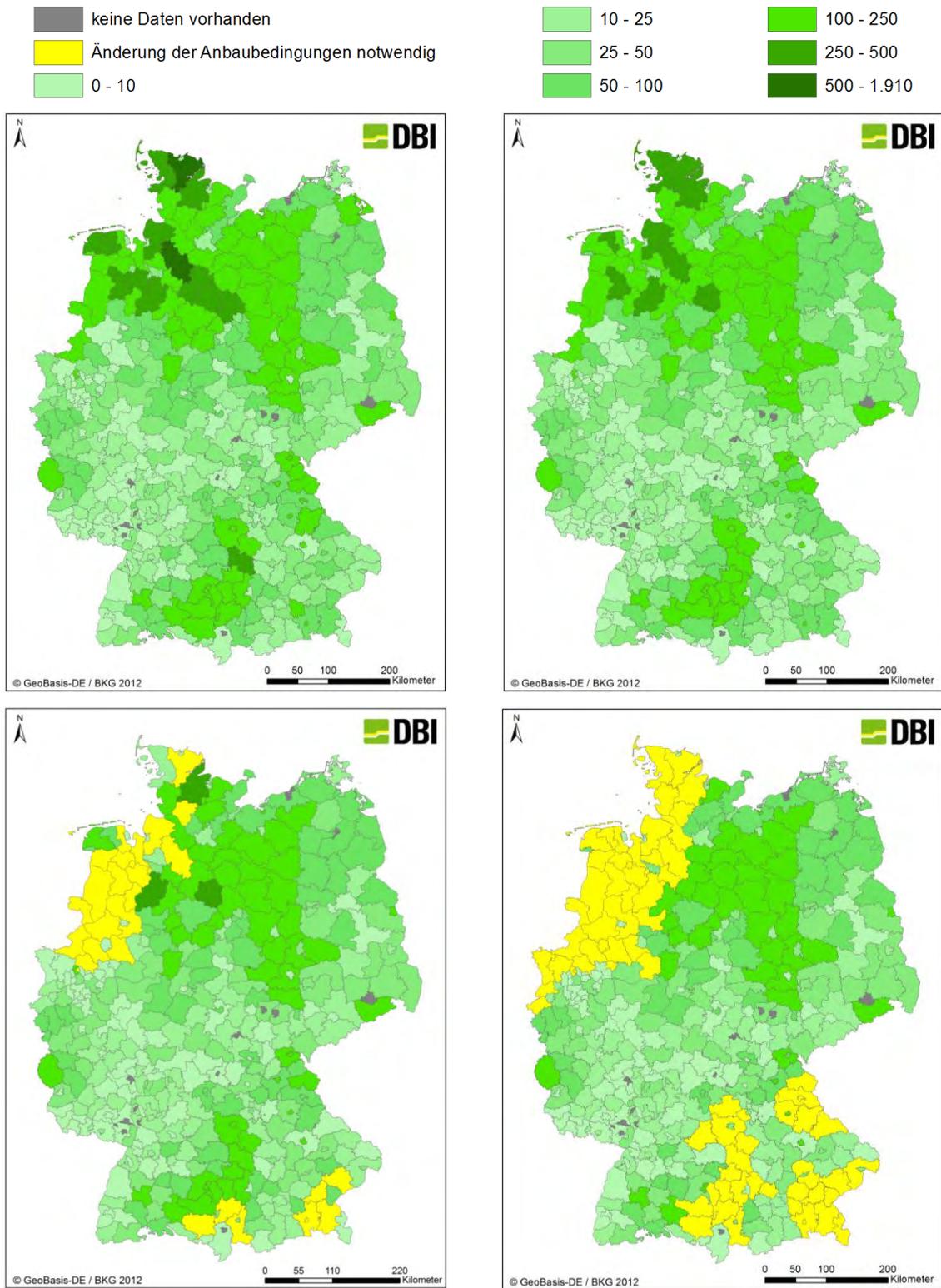


Abbildung 38: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial der Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ (von links nach rechts und oben nach unten) aus Mais in Nm³ CH₄/ha auf Landkreisebene

Im Vergleich mit anderen Studien lässt sich die Größenordnung des theoretischen und technischen Potenzials bestätigen. Grundlage für die Potenzialwerte sind die bundesweiten Anbauflächen für Mais zur Vergärung in Biogasanlagen. Diese variieren in den Vergleichsstudien von 700.000 bis 850.000 ha, wobei die Daten von [DBFZ 2010] bezüglich der Ackerflächen auf anderen Annahmen basieren und deswegen stärker abweichen. Das nachhaltige Potenzial ist deutlich geringer (unterer Balken in Abbildung 39).

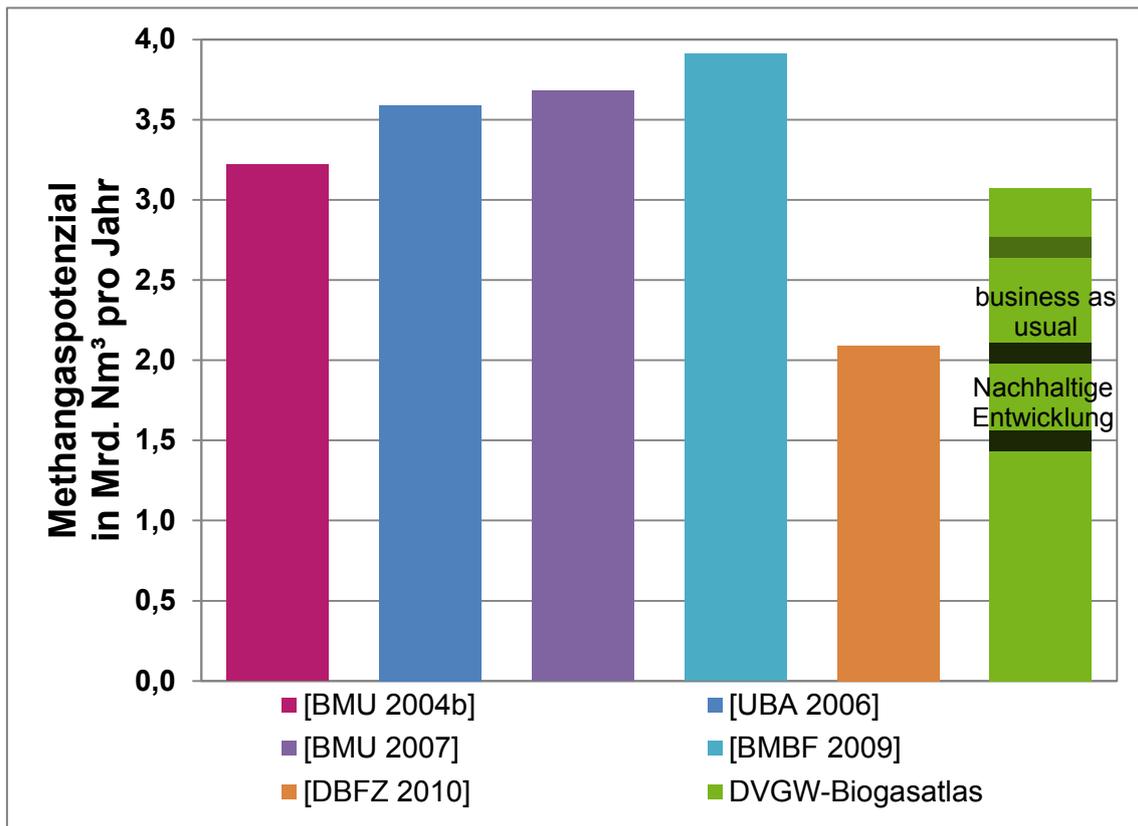


Abbildung 39: Biomethangaspotenzial aus Mais im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, Linie: technisches und wirtschaftliches Potenzial der Szenarien, wenn angegeben)

Die aktuellen Mais-Potenziale in Deutschland wurden unter Berücksichtigung der regionalen Erträge und Fruchtbarkeiten auf Ackerflächen heruntergebrochen. Flächenspezifisch nach theoretischen, technischen und wirtschaftlichen (nachhaltigen) Potenzialen abgestuft, ergeben sich die Kartenansichten wie folgt (Abbildung 40). Das theoretische und technische Potenzial sind besonders in Norddeutschland sehr hoch. Dies ist das Ergebnis eines dortigen aktuellen verstärkten Maisanbaus. Unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitskriterien zeigt sich jedoch, dass im Nordwesten und Südosten kein Anbau für Energiemais erfolgen sollte. Bei einer Nutzung der Gärprodukte außerhalb der Region könnten die Flächen für Energiepflanzen genutzt werden. Der Grund hierfür liegt in den entsprechend belasteten/gefährdeten Böden bzw. Trinkwasserkörpern. Die höchsten Potenziale sind somit in Zentraldeutschland.

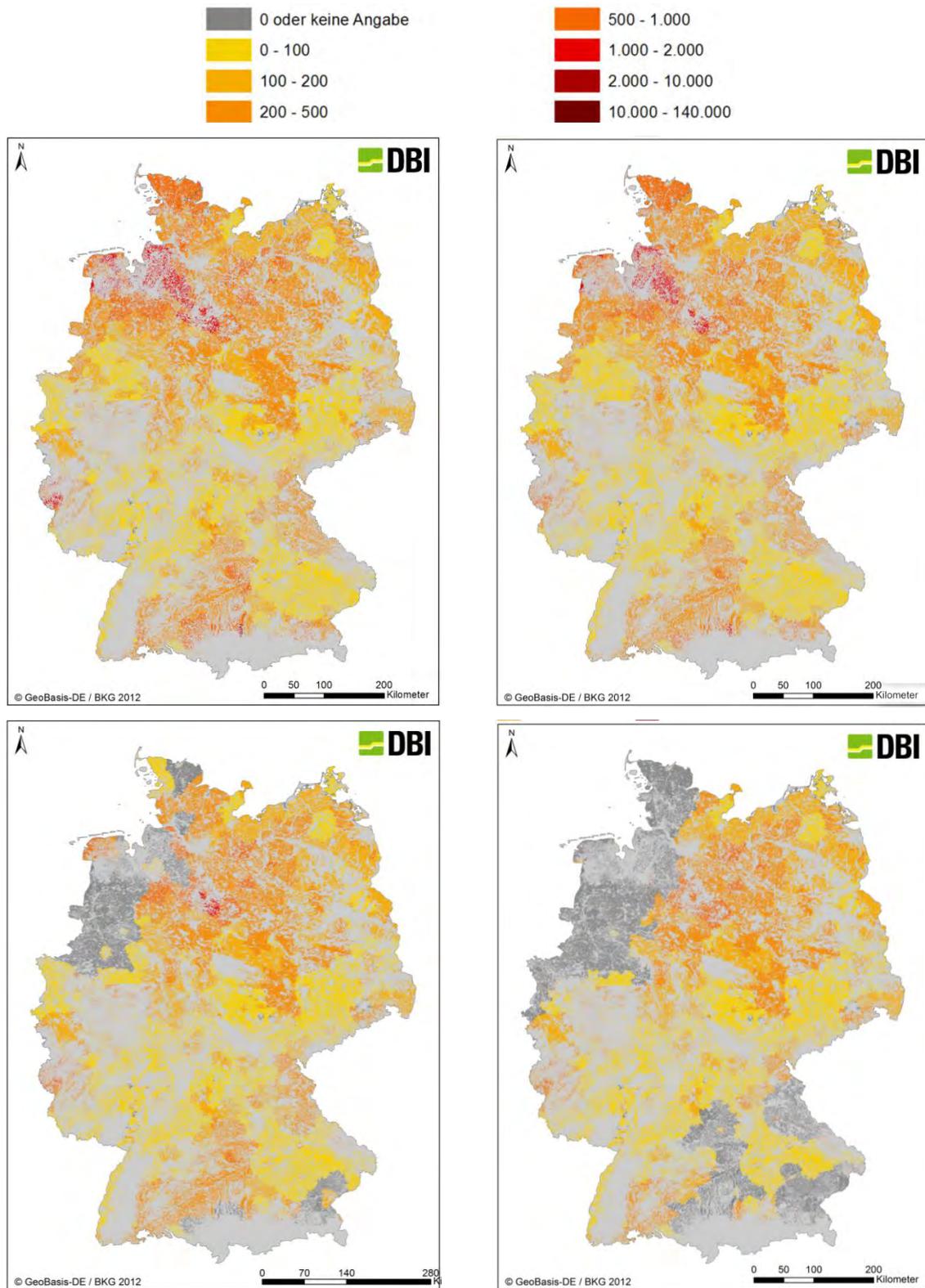


Abbildung 40: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial der Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ (von links nach rechts und oben nach unten) aus Mais in Nm³ CH₄/ha

Prognose Mais

Die Entwicklung des Maisanbaus steht bereits in der öffentlichen Diskussion. Eine sogenannte „Vermaisung“ der Landschaft aufgrund des steigenden Maisanbaus für Biogasanlagen ist ein aktuelles Problem, welches insbesondere in Regionen auftritt, die aufgrund hoher Viehzahlen bereits einen hohen Anteil Silomais in der Fruchtfolge aufweisen. Die Boden- und Grundwasserqualität kann infolge eines erhöhten Maisanbaus negativ beeinflusst werden. Aus diesem Grund und weil Maissilage ein Hauptsubstrat für Biogasanlagen darstellt, erfolgt eine differenzierte Betrachtung für die Zukunftsprognose. Aufbauend auf den Analysen in Kapitel 3.3 werden nachfolgend weiterhin zwei Szenarien betrachtet.

- business as usual
- Nachhaltige Entwicklung

Dem ersten Szenario (business as usual) liegt die Annahme zugrunde, dass zukünftig keine Änderungen in den Vorschriften, welche die Nährstoffausbringung betreffen, vollzogen werden. Im Gegensatz dazu steht das Szenario „Nachhaltige Entwicklung“, welche stärker greifende wasserwirtschaftliche Restriktionen berücksichtigt.

Um Ackerflächen nachhaltig zu bewirtschaften, sind Fruchtfolgen zu berücksichtigen. Nur mit optimal auf die Bodenverhältnisse abgestimmten Fruchtfolgen können eine Schädigung des Bodens und somit auch negative Auswirkungen auf das Grundwasser vermieden werden. Die Ermittlung der regionalen maximal möglichen Maisanbaumengen und Maisanbauflächen hat somit auch diesen Faktor zu berücksichtigen. In Tabelle 9 sind berücksichtigte Restriktionen für jedes Szenario zusammengefasst.

Mit Hilfe dieser Vorgaben ist für jedes Szenario ein deutschlandweiter Maximalwert für den Maisanbau bestimmbar. Dieser Wert orientiert sich an den Potenzialen des Nähstoffmodells aus Kapitel 3.3, der ein zukünftig erreichbares Potenzial definiert. Die Potenzialsteigerung über diesen Zeitraum beruht auf einem konstanten Bedarf anderer Nutzungspfade (Tierhaltung/ Lebensmittelindustrie), sodass die Steigerung gänzlich dem Energiemais zugeschrieben wird. Wie aus nachfolgender Abbildung ersichtlich, ließen sich aktuell auf ca. 700.000 ha Energiemais anbauen, jedoch müsste diese Anbaufläche entsprechend über Deutschland verteilt sein. Ein weiterer Ausbau der Flächen wäre zudem in den nächsten Jahren und Jahrzehnten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsfaktoren möglich.

Tabelle 26: Prognostizierte maximale Maisanbaufläche je Szenario der Bundesrepublik Deutschland in ha

Jahr	„business as usual“	„Nachhaltige Entwicklung“
2010	700.000	700.000
2015	1.380.000	940.000
2020	2.050.000	1.190.000
2030	3.290.000	1.640.000

Abbildung 41 zeigt den Entwicklungstrend der betrachteten Szenarien im Vergleich zur Studie der Bundesregierung [BMBF 2009]. Die Entwicklung der Biomethanherzeugungspotenziale ist in Abbildung 42 dargestellt.

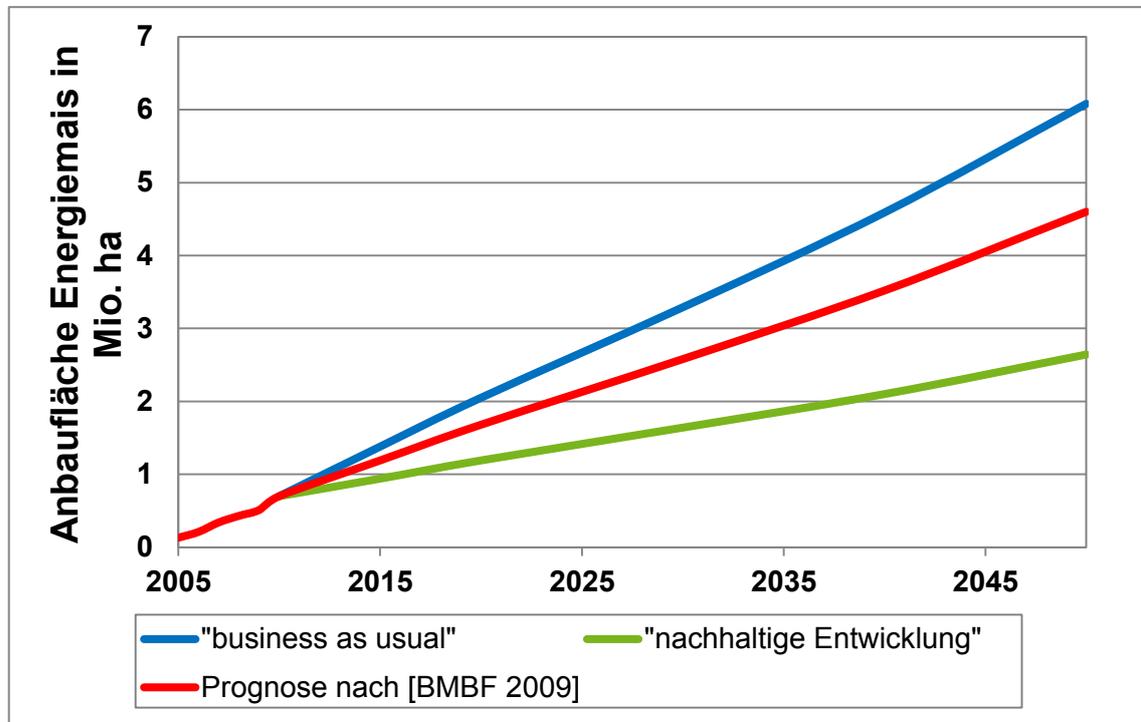


Abbildung 41: Entwicklung der Energiemaisanbaufläche in verschiedenen Szenarien

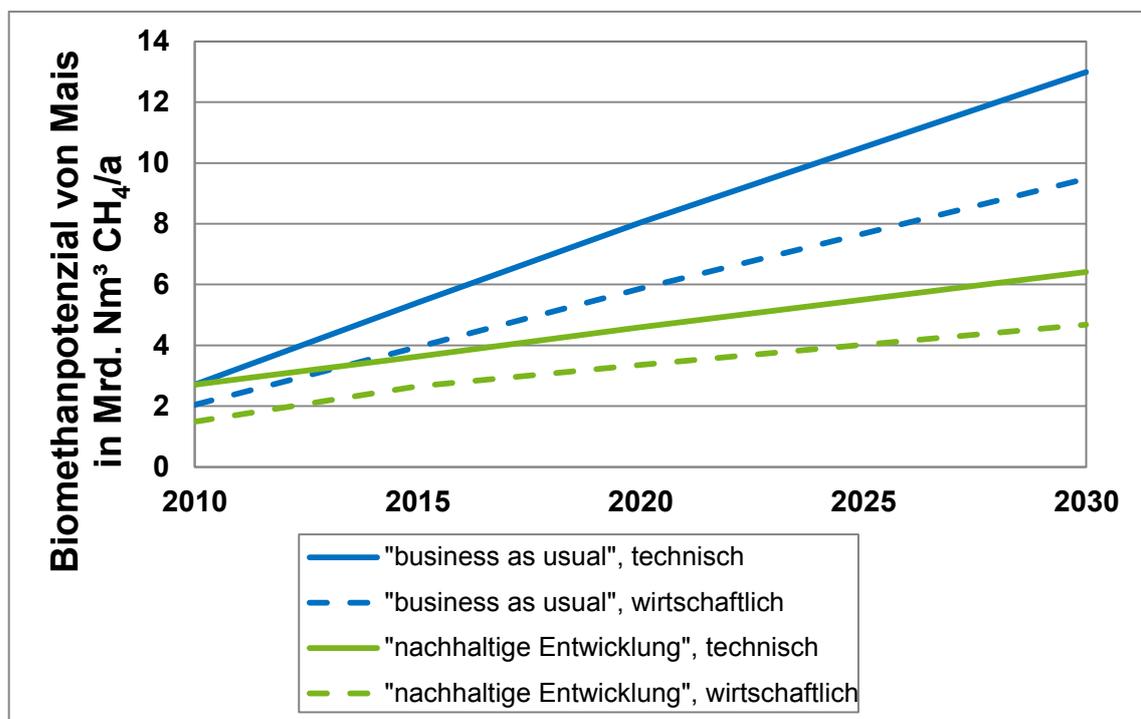


Abbildung 42: Entwicklung der Biomethanherzeugungspotenzials von Mais in verschiedenen Szenarien

Zur Ermittlung der zukünftigen Maiserträge werden deutschlandweit die jeweiligen spezifischen Hektarerträge prognostiziert (Abbildung 43). Je nach Szenario kommen die einzelnen Restriktionen individuell für jeden Landkreis zur Anwendung. So stellen sich einzelne Gebiete heraus, in denen unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten nach den Vorgaben aus Kapitel 3 eine Verringerung des Maises zu erfolgen hat (siehe Abbildung 44 und Abbildung 45). Die Gebiete in denen unter den genannten Parametern kein nachhaltiger Maisanbau möglich ist und daher zukünftig kein Energiemaispotenzial zur Verfügung steht, befinden sich vor allem im Nordwesten und Südosten Deutschlands. Die Verschärfung der Nachhaltigkeitsfaktoren vom Szenario „business as usual“ zum Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ führt zu einem zusätzlichen Ausschluss einiger Regionen (Landkreise). Betroffen sind beispielsweise Schwäbisch Hall in Baden-Württemberg und Kleve, Viersen sowie Wesel in Nordrhein-Westfalen.

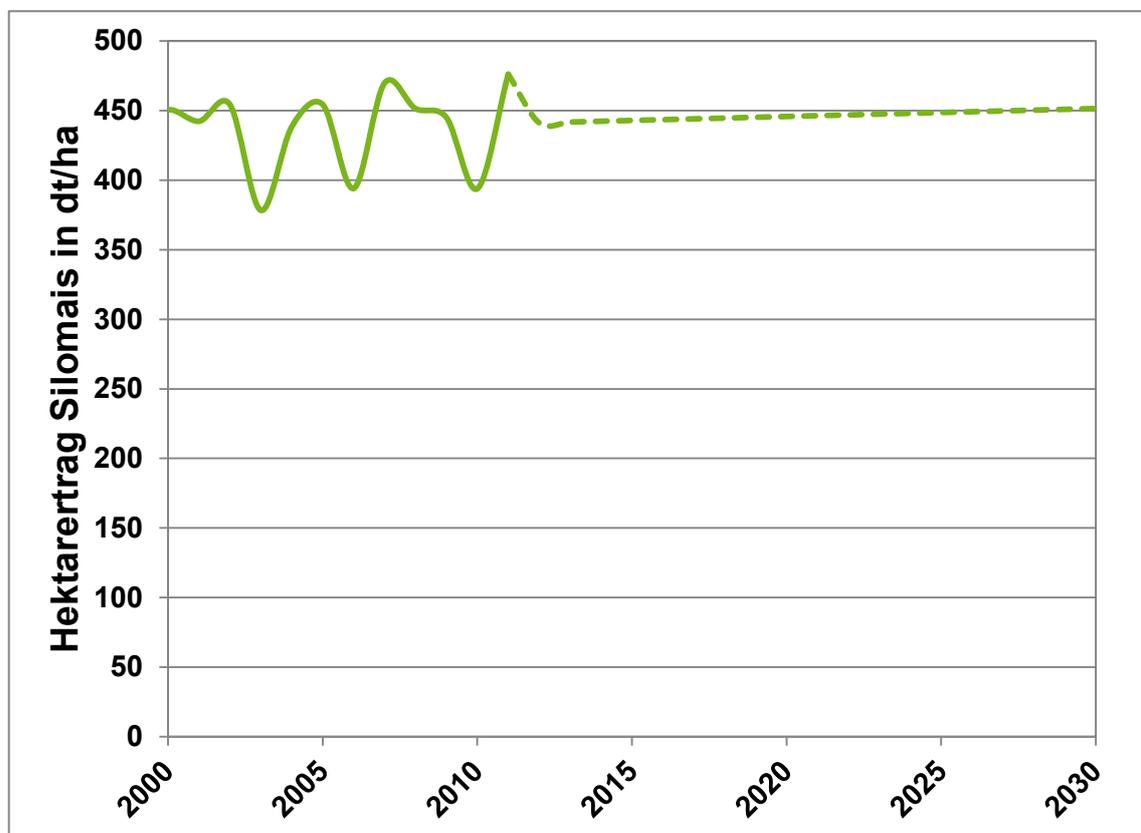


Abbildung 43: unterstellte Entwicklung der durchschnittlichen Hektarerträge von Silomais in Deutschland von 2000 bis 2030

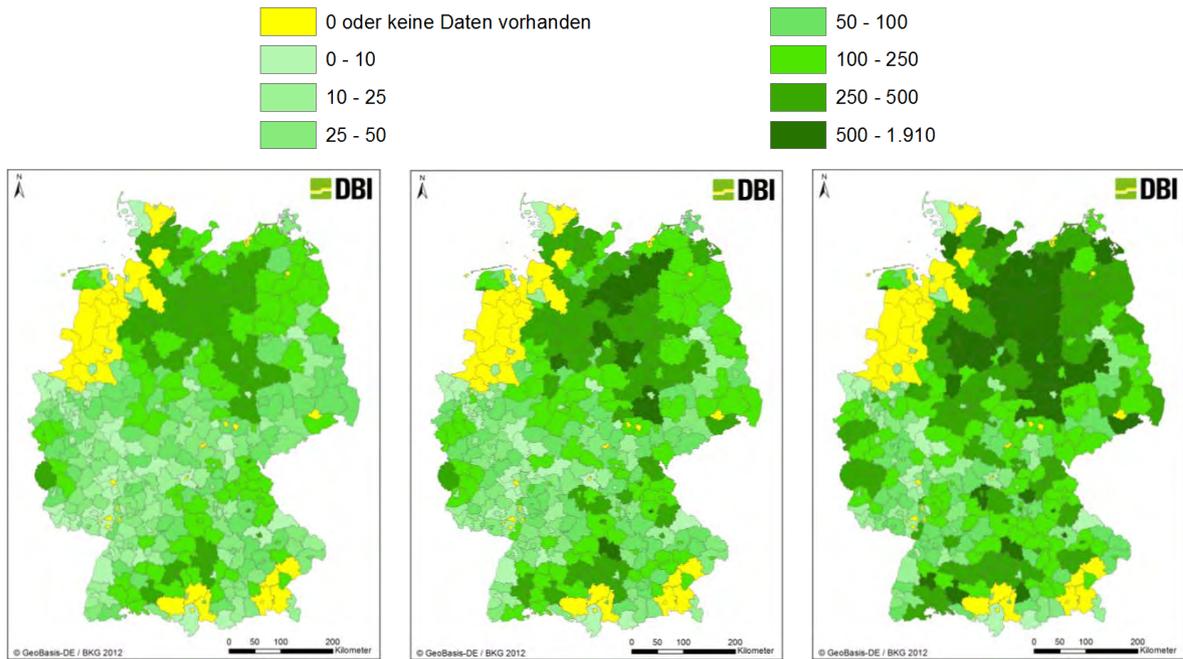


Abbildung 44: Szenario „business as usual“: Wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Mais in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030

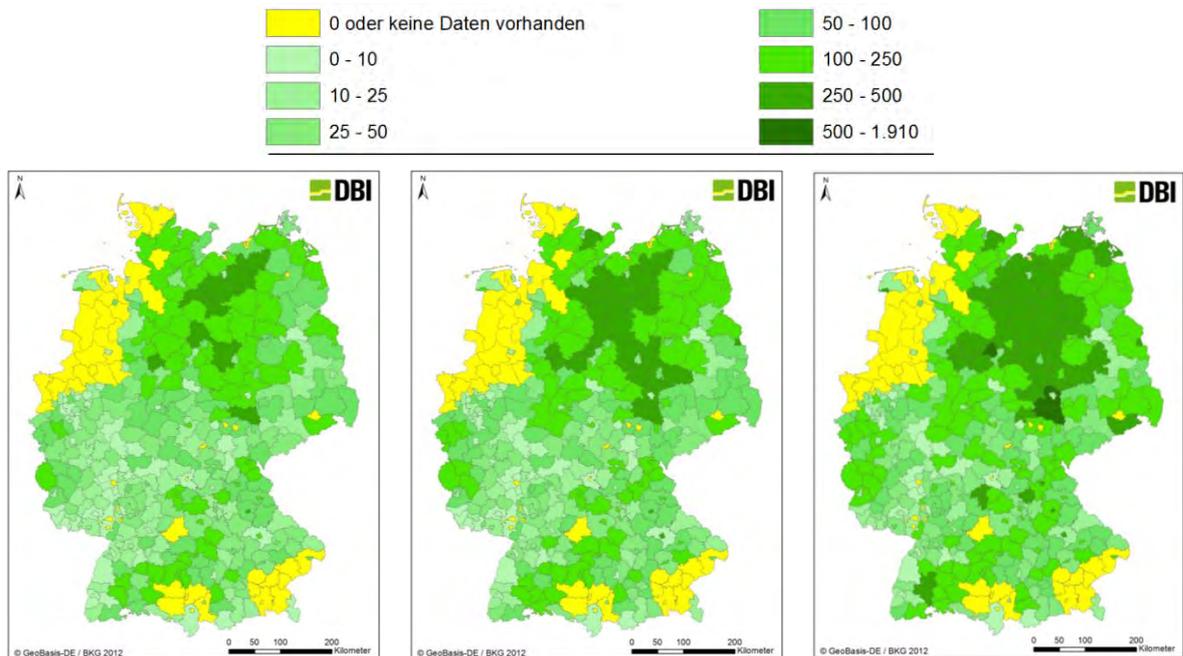


Abbildung 45: Szenario „Nachhaltige Entwicklung“: Wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Mais in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030

6.2.3 Dauergrünland

Laut Statistischem Bundesamt wurden 2011 in Deutschland 4,65 Mio. ha Dauergrünland bewirtschaftet [STB 2012h]. Im Sinne des Statistischen Bundesamtes gehören zum Dauergrünland:

- Wiesen
- Mähweiden
- Weiden
- Hutungen, Streuwiesen

Bereits im Begriff „Dauergrünland“ steckt eine langzeitliche Betrachtungsweise; dementsprechend wird die Bepflanzung nicht durch andere Kulturen unterbrochen. Die Abgrenzung zum übrigen Grünland wird in der EG-Verordnung Nr. 1120/2009 exakter definiert. Darin heißt es, dass Grünland erst nach mindestens fünf aufeinanderfolgenden Jahren zu Dauergrünland wird, sofern es nicht Bestandteil einer Fruchtfolge war [EG 2009].

Die Gesamtfläche an Dauergrünland nimmt in Deutschland seit einigen Jahren stetig ab. Um den europaweiten Trend des Rückgangs von Dauergrünland entgegen zu wirken, hat die EU in der EG-Verordnung Nr. 796/2004 festgelegt, dass der Rückgang von Dauergrünland nicht über 10 % zum Referenzjahr 2003 liegen darf. Deutschland bzw. die Bundesländer haben diese Verordnung weiter verschärft, indem sie die Prozentzahl auf 8 bzw. 5 % festgesetzt haben. Bei Überschreiten dieser Grenzwerte ist eine Wieder- oder Neueinsaat von Dauergrünland durchzuführen [DirektZahlVerpflG 2004].

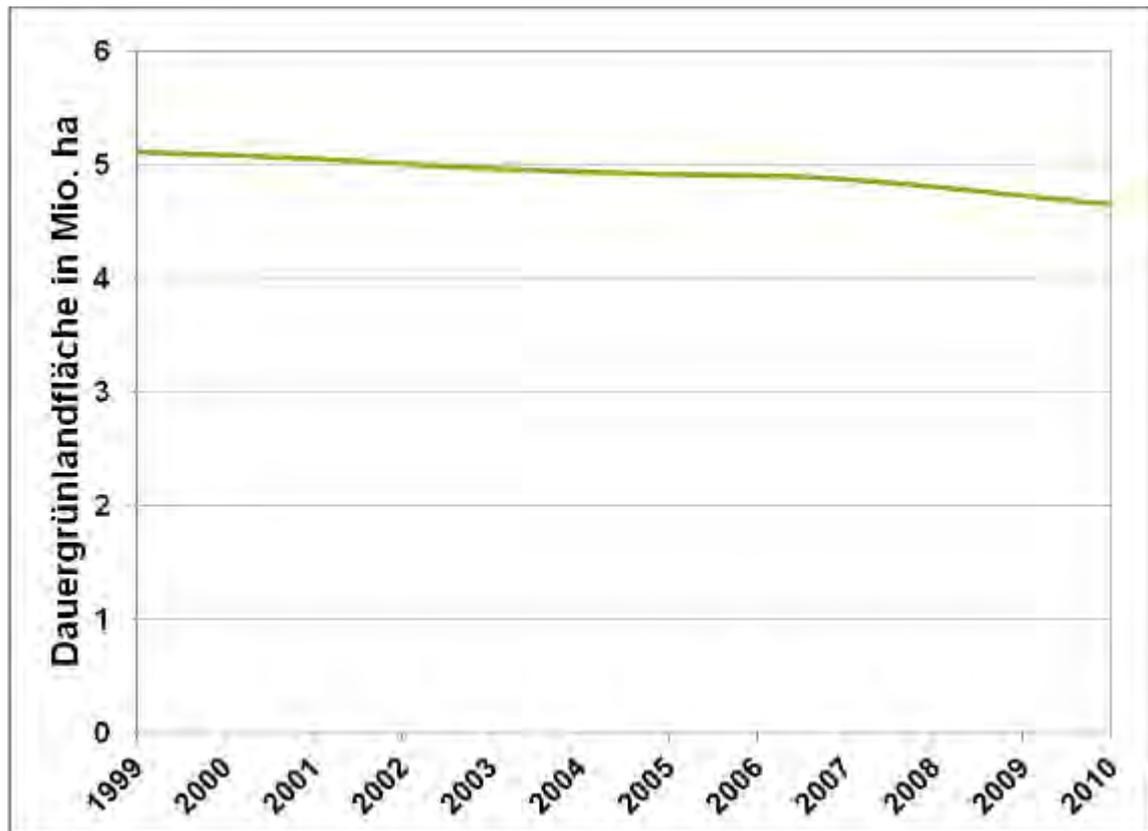


Abbildung 46: Entwicklung der Dauergrünlandfläche in Deutschland von 1999 bis 2010 [STB 2012i]

Das auf Dauergrünlandflächen geerntete Gras und Heu kann einerseits als Futtermittel und andererseits zur Energiegewinnung dienen. Ausgehend vom Futterbedarf, lässt sich dabei das Potenzial zur Energieerzeugung abschätzen. Zur Bestimmung des Futterbedarfes sind die regionalen Viehzahlen heranzuziehen. Abbildung 47 zeigt schematisch unterschiedliche Futtermittel nach ihrer Herkunft. Um den Anforderungen an Wachstum, Arbeits- und Milchleistung der Tiere gerecht zu werden, erfolgt neben der Fütterung von Grundfutter auch die Verwendung energiereicheren Krafftutters. Da für das Krafftutter keine Erntemengen aus Dauergrünland verwendet werden, erfolgt an dieser Stelle keine weitere Betrachtung. Tiere, welche Gras und Heu von Dauergrünland fressen, sind Rinder, Pferde und Schafe. In der Schweinezucht und -mast erfolgt aus Wirtschaftlichkeitsgründen keine nennenswerte Verfütterung von Dauergrünlanderträgen [AGRAR 2012].

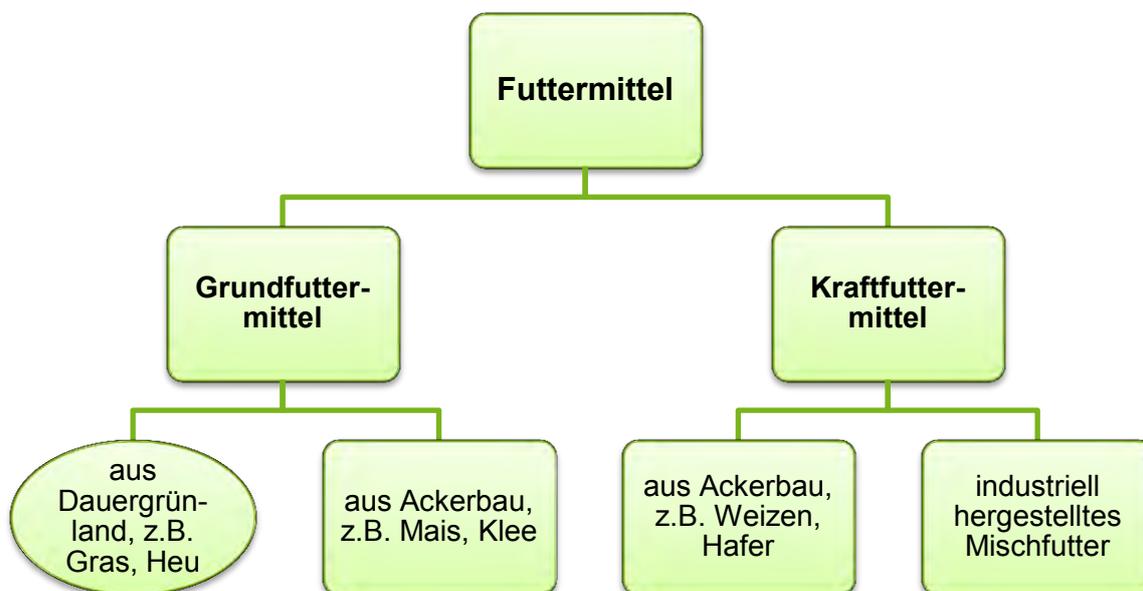


Abbildung 47: Einteilung Futtermittel nach Energiegehalt und Herkunft

Tabelle 27: Grundfutterbedarf bei Rindern, Pferden und Schafen [BW 2007, eigene Berechnung] (ME-metabolische Energie; NEL-Netto-Energie-Laktation)

Tierart	Energiebedarf aus Grundfutter pro Tier & Jahr	Anteile an der Futterrations in %					
		Gras-silage	Heu	Mais-silage	Weide	Dauer-weide	Hutung
Rinder							
Mastbulle	20.987 MJ ME	50	–	50	–	–	–
Kalb	1.840 MJ ME	–	100	–	–	–	–
Färse	20.291 MJ ME	25	25	25	25	–	–
Mutterkuh	34.146 MJ ME	20	30	–	10	40	–
Milchkuh	28.020 MJ NEL	24	8,5	42,5	25	–	–
Pferde							
Pferde	27.740 MJ ME	–	60	–	40	–	–
Schafe							
Mutterschaf	3.820 MJ ME	13	14	–	51	–	22
Mastlamm	2.143 MJ ME	7	7	–	60	–	26
Jungschaf	3.187 MJ ME	11	12	–	54	–	23

Die in [BW 2007] für Baden-Württemberg aufgeführten Energiegehalte von Grundfuttermitteln sind gemittelt in Tabelle 28 aufgelistet. Ihre Anwendung erfolgt in dieser Studie auf ganz Deutschland.

Tabelle 28: Energiegehalte von Grundfuttermitteln [BW 2007, eigene Berechnung] (ME-metabolische Energie; NEL-Netto-Energie-Laktation)

Grundfuttermittel	Energiegehalt	
	MJ ME/kg TM	MJ NEL/kg TM
Grassilage	9,625	5,80
Heu	8,425	5,05
Maissilage	11,40	6,85
Weide	9,95	5,975
Dauerweide	8,30	5,00
Hutung	7,50	4,50

Aus Energiebedarf, Energiegehalt und Zusammensetzung des Futters lässt sich der Futterbedarf je Tier berechnen. Mit Hilfe der Tierzahlen des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2007 auf Landkreisebene ergibt sich die als Grundfutter benötigte Menge. Da sich das Grundfutter – wie in Abbildung 47 dargestellt – neben Dauergrünland auch aus ackerbaulichen Grünflächen zusammensetzt, müssen diese Erträge vom Bedarf abgezogen werden, um den Bedarf an Dauergrünland zu erhalten. Damit wird vorausgesetzt, dass das ackerbauliche Grundfutter ausschließlich als Tiernahrung verwendet wird. Daraus ableitend lässt sich der Futterbedarf berechnen, der durch Dauergrünlandflächen gedeckt werden muss (Abbildung 48).

Subtrahiert man die Futterbedarfsfläche an Dauergrünland von der angegebenen Dauergrünlandfläche, erhält man die überschüssige Fläche, welche zur Energieerzeugung (Biogaserzeugung) zur Verfügung steht. Mittels spezifischen Hektarertrag, Trockensubstanz (37,5 % [FNR 2010]) und Methangasertrag (100 Nm³ CH₄/t FM [BMV 2012]) ergibt sich *ein theoretisches Potenzial* von 1,9 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 68,0 PJ pro Jahr. Unter Berücksichtigung von 12 % Lagerverlusten (6 % Trockenmasse-, 5 % Rand-, 1 % Entnahmeverluste) [KTBL LW 2009] ergibt sich ein *technisches Potenzial* von 1,6 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 57,3 PJ pro Jahr.

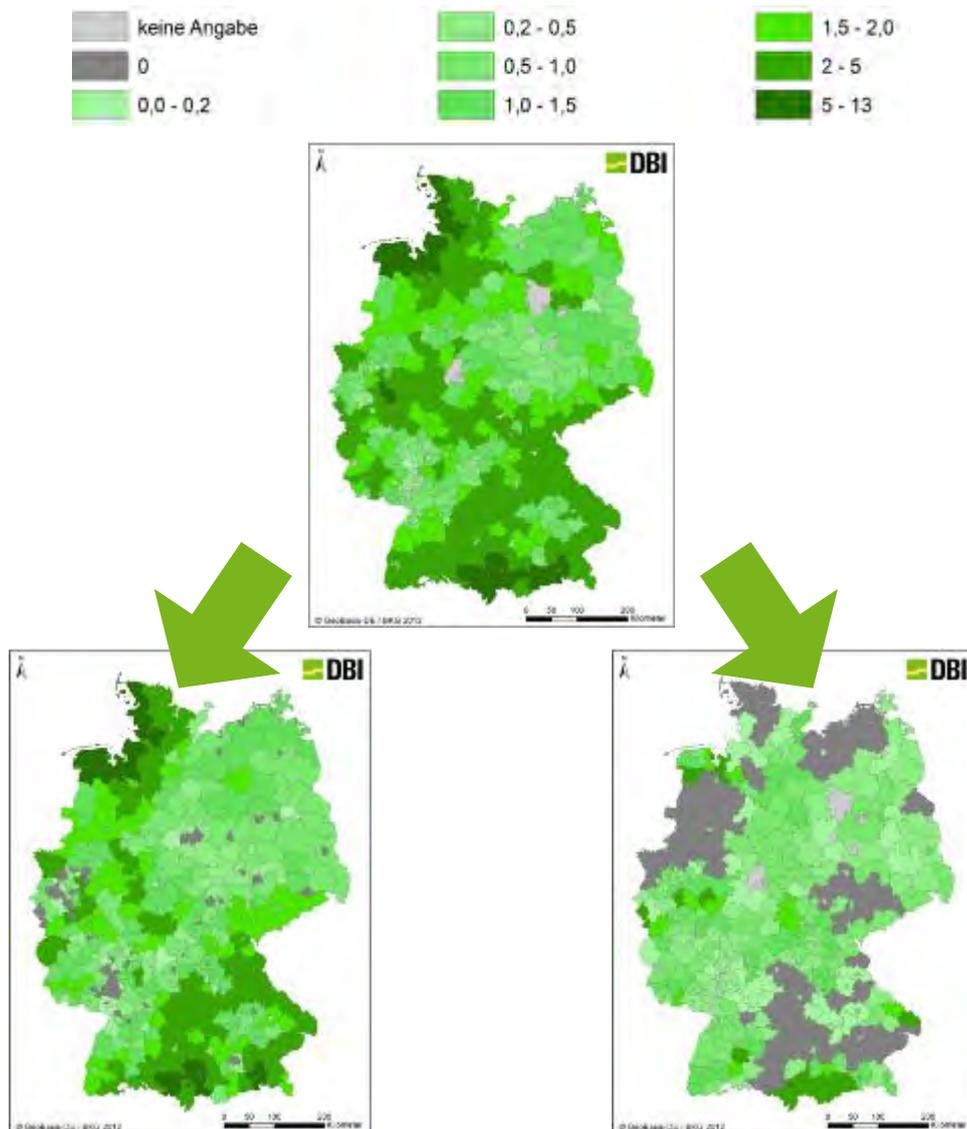


Abbildung 48: Dauergrünland insgesamt (oben) sowie die Verwendung als Tierfutter (links) und mögliche energetische Nutzung (rechts) in t/ha

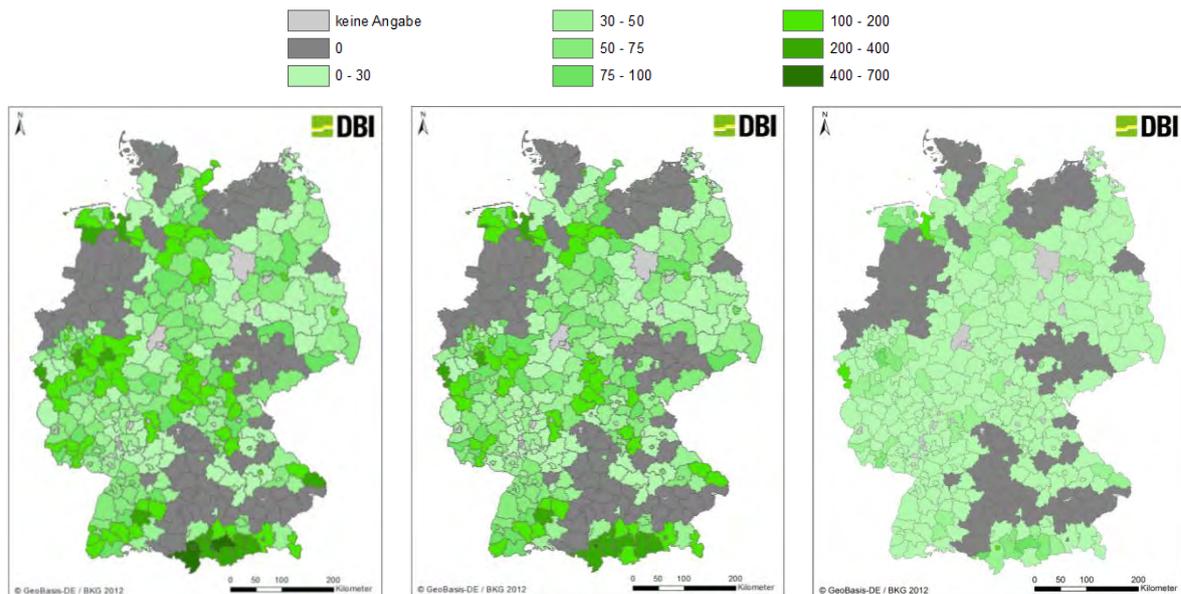


Abbildung 49: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) aus Dauergrünland in Nm³ CH₄/ha

Da nicht überall in Deutschland eine Bergung des Schnitts von Dauergrünland wirtschaftlich sinnvoll ist, erfolgt für die Ermittlung des wirtschaftlichen Potenzials eine Differenzierung anhand der Höhenlage (Tabelle 29). Mit zunehmender Höhenlage nimmt dabei die Verfügbarkeit ab. Der Hintergrund liegt darin begründet, dass für höhere Lagen kleine, feingliedrige Flächen und häufig größere Hangneigungen vorliegen. Für das *wirtschaftliche Potenzial* ergibt sich ein Wert von 500 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 17,9 PJ pro Jahr.

Tabelle 29: Wirtschaftliche Verfügbarkeit von Dauergrünlandschnitt in Abhängigkeit der Höhenlage [BEISECKER 2012; eigene Schätzungen]

Gebiet	Höhenlage	wirtschaftliche Verfügbarkeit
Flachland	unter 350 m	55 %
mittlere Lage	350 bis unter 900 m	30 %
hohe Lage	über 900 m	15 %

Im Vergleich zu anderen Studien zeigt sich, dass das in dieser Ermittlung berechnete technische Potenzial höher ist (Abbildung 50). Ursache hierfür liegt in der jeweils unterschiedlichen Beurteilung der Erreichbarkeit sowie der Verfügbarkeit der Substrate von Dauergrünlandflächen. Das berechnete wirtschaftliche Potenzial hingegen weist nur einen geringfügig höheren Wert auf. [KALTSCHMITT 2003] und [SCHOLWIN 2007] geben eine allgemeine durchschnittliche Verfügbarkeit von 8 bis 12 % an. In dieser Studie wird der Bedarf für die Tierfütterung berücksichtigt. Hieraus ergibt sich, dass ca. 23 % des Dauergrünlandes theoretisch für die Biogaserzeugung zur Verfügung stehen. Da in [SCHOLWIN 2007] für die Berechnung des theoretischen Potenzials der gesamte Anfall an Grünschnitt von Dauergrün-

landflächen zu Grunde liegt (ohne den Tierfutterbedarf zu berücksichtigen), ergibt sich ein großes Potenzial von etwa 3,4 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 121,7 PJ pro Jahr. In [BMU 2004b] fließt die Erreichbarkeit aufgrund von Hanglage etc. bereits in den Ertrag ein, welcher mit 3 t Trockensubstanz pro Hektar und Jahr angesetzt wird und damit besonders gering ausfällt.

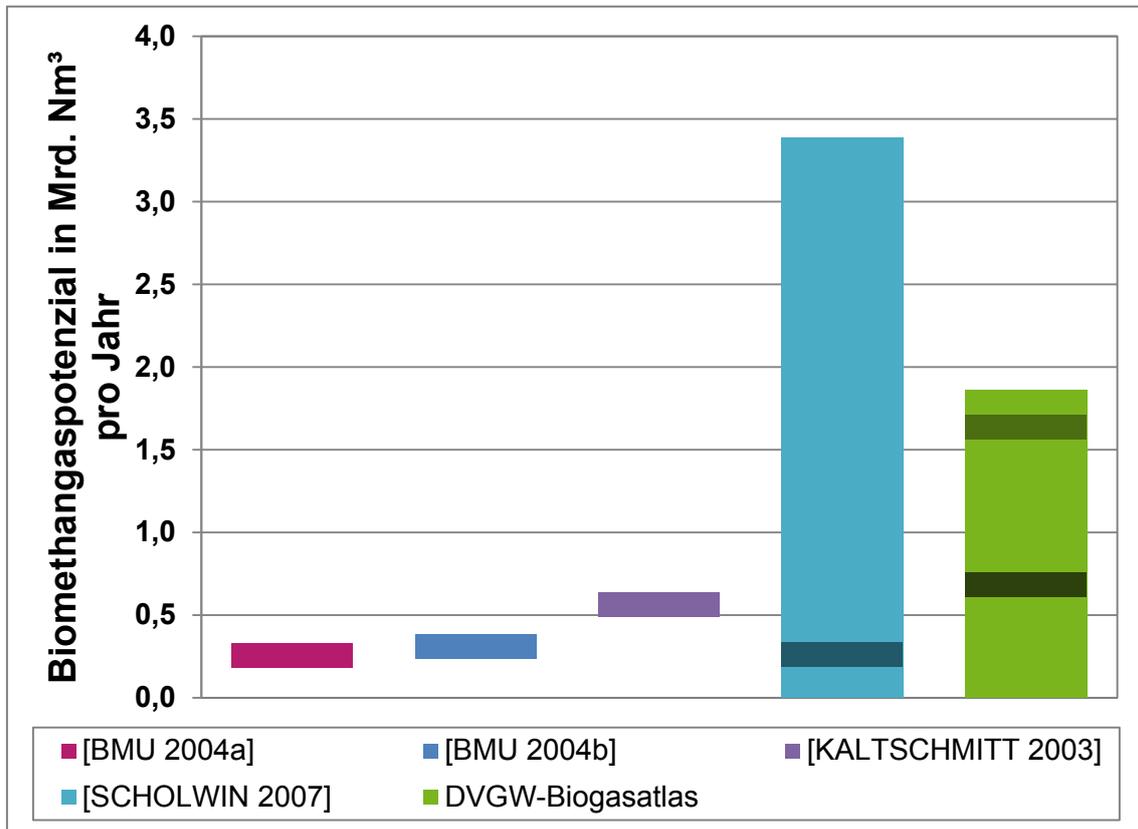


Abbildung 50: Biomethangaspotenzial aus Dauergrünland im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; obere Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben; untere Linie: wirtschaftliches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Dauergrünland

Die Möglichkeit zukünftig Grünschnitt von Dauergrünland der energetischen Nutzung zuzuführen, ist von der Entwicklung des Tierfutterbedarfes und der Gesamtfläche an Dauergrünland abhängig. Die Entwicklungsprognose der zur Energiegewinnung nutzbaren Substrate aus Dauergrünland zeigt, dass die verfügbare Fläche stetig zunimmt (Abbildung 52). Ursache hierfür sind einerseits sinkende Rinderzahlen der letzten Jahre und andererseits eine durch die EG-Verordnung Nr. 796/2004 bzw. das Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz festgelegte Mindestfläche für Dauergrünland [DirektZahlVerpflG 2004]. Darin wird festgelegt, dass der Rückbau von Dauergrünland zum Referenzjahr 2003 maximal 10% (EG-Verordnung 796/2004) bzw. 8 % nach bundesdeutschem Recht betragen darf. Bei Überschreitung dieser Prozentsätze sind Neu- oder Wiedereinsaaten durchzuführen. Um die Einhaltung dieser Grenzwerte zu gewährleisten haben ei-

nige Bundesländer den maximalen Rückbau auf 5 % begrenzt, um rechtzeitig reagieren zu können. Der Schutz von Dauergrünland ist notwendig geworden, da aufgrund steigender Milchleistung und hohem Kostendruck in der Milchproduktion das Grünlandfutter durch Kraftfutter ersetzt wird [ITAS 2003]. Somit sinkt die wirtschaftliche Bedeutung von Dauergrünland für die Landwirte und es erfolgt zunehmend eine ackerbauliche Nutzung dieser Flächen. Dieser Veränderung des Landschaftsbildes soll entgegen gewirkt werden.

Zur Bestimmung des zukünftigen Bestandes raufutterverzehrender Tiere liegt die Entwicklung seit 1990 zu Grunde (Abbildung 51). Für Pferde ergibt sich somit eine jährliche Zunahme von etwa 0,2 % und für Schafe eine Abnahme um 0,85 % pro Jahr. Die Prognose der Rinderzahlen erfolgt gemäß [ISPA 2006] analog zum Kapitel 6.2.1.

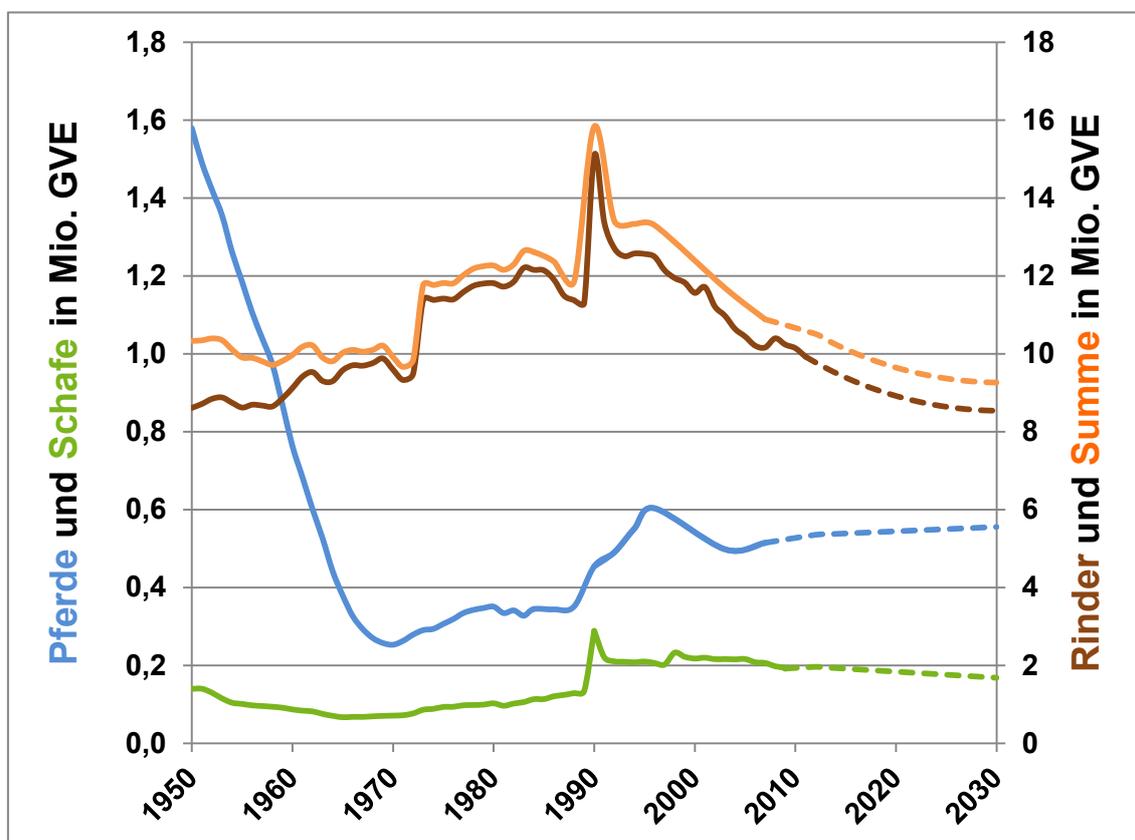


Abbildung 51: Entwicklung und Prognose des Tierbestandes (Pferde, Schafe, Rinder) von 1950 bis 2030 [STB 2012g, KTBL LW 2009, eigene Berechnungen]

Die für 2030 prognostizierte Dauergrünlandfläche für Energieerzeugung beträgt 1,8 Mio. ha, was einen Zuwachs von 68 % im Vergleich zu 2010 entspricht.

Tabelle 30: Entwicklung Dauergrünland [STB 2010e, eigene Berechnung]

Jahr	Fläche Dauergrünland, gesamt in Mio. ha	Fläche Dauergrünland, energetische Nutzung, theoretisch in Mio. ha
2010	4,65	1,08
2015	4,57	1,30
2020	4,57	1,48
2030	4,57	1,82

Für die Regionalisierung dieser Entwicklung wird die gesamtdeutsche prozentuale Änderung des Gesamtfläche und der als Tierfutter benötigten Fläche an Dauergrünland auf die Landkreise angewendet. Die Differenz dieser beiden Werte ergibt die überschüssige Fläche, welche zur energetischen Nutzung zur Verfügung steht.

Somit können Landkreise, welche zum heutigen Zeitpunkt kein Biogaspotenzial aus Dauergrünland aufweisen, zukünftig aufgrund eines sinkenden Tierfutterbedarfs überschüssige Dauergrünlandflächen besitzen.

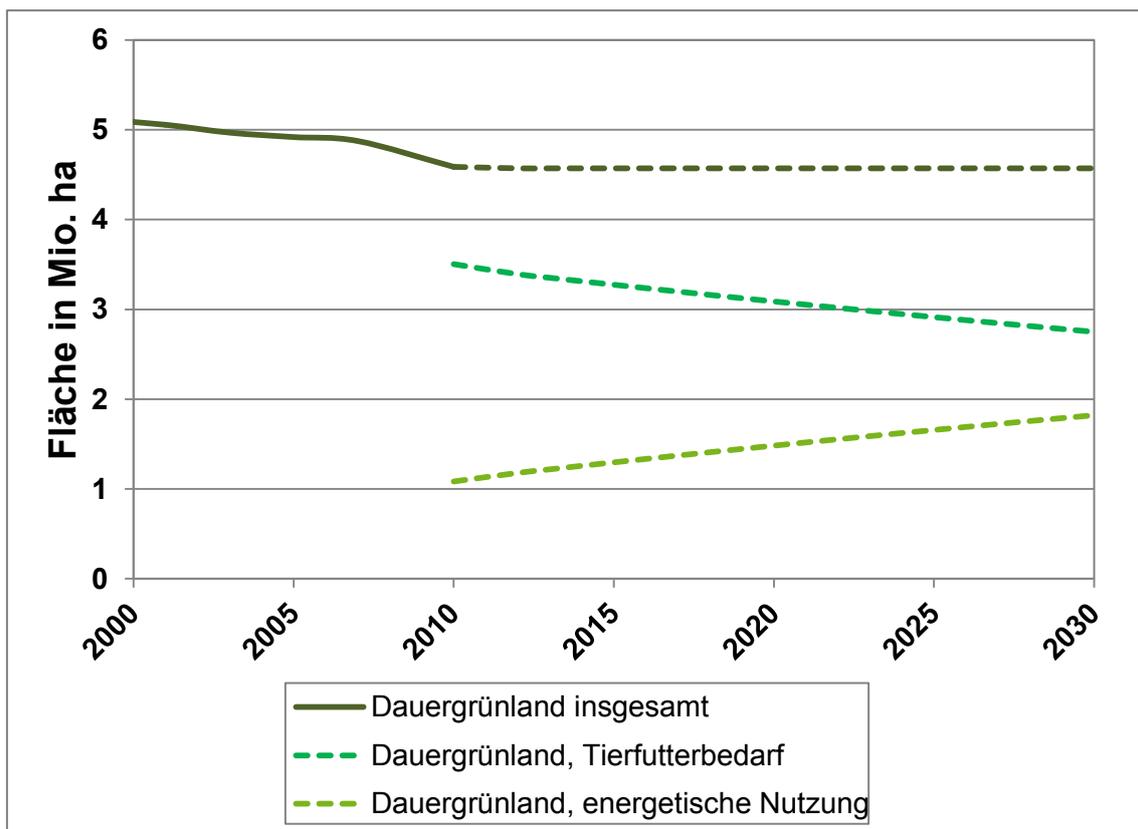


Abbildung 52: Entwicklungsprognose der zur Energieerzeugung zur Verfügung stehenden Dauergrünlandfläche bis 2030 [STB 2012j, eigene Berechnungen]

Abbildung 53 zeigt die regionalisierten Potenziale aus Dauergrünland für 2015, 2020 und 2030. Das technische Potenzial (mittlere Bilderspalte) berücksichtigt in Anlehnung an die Potenzialermittlung zum heutigen Zeitpunkt 12 % Lagerverluste (6 % Trockenmasseverluste, 5 % Randverluste, 1 % Entnahmeverluste) [KTBL LW 2009]. Das wirtschaftliche Potenzial berücksichtigt die wirtschaftliche Verfügbarkeit aufgrund der Höhenlage. Es wird angenommen, dass bei höher gelegenen Landkreisen häufiger starke Hangneigungen und feingliedrigere Flächenstrukturen auftreten. Aufgrund des technischen Fortschritts nimmt die wirtschaftliche Verfügbarkeit zu.

Tabelle 31: Wirtschaftliche Verfügbarkeit in Abhängigkeit der Höhenlage über mehrere Jahre [eigene Schätzungen]

Jahr	Höhenlage		
	flache Lage (unter 350 m)	mittlere Lage (350 bis 900 m)	hohe Lage (über 900 m)
2015	62,5 %	38,75 %	18,75 %
2020	70 %	47,5 %	22,5 %
2030	85 %	65 %	30 %

In Abbildung 53 ist das theoretische Biomethanpotenzial der Jahre 2015, 2020 und 2030 dargestellt.

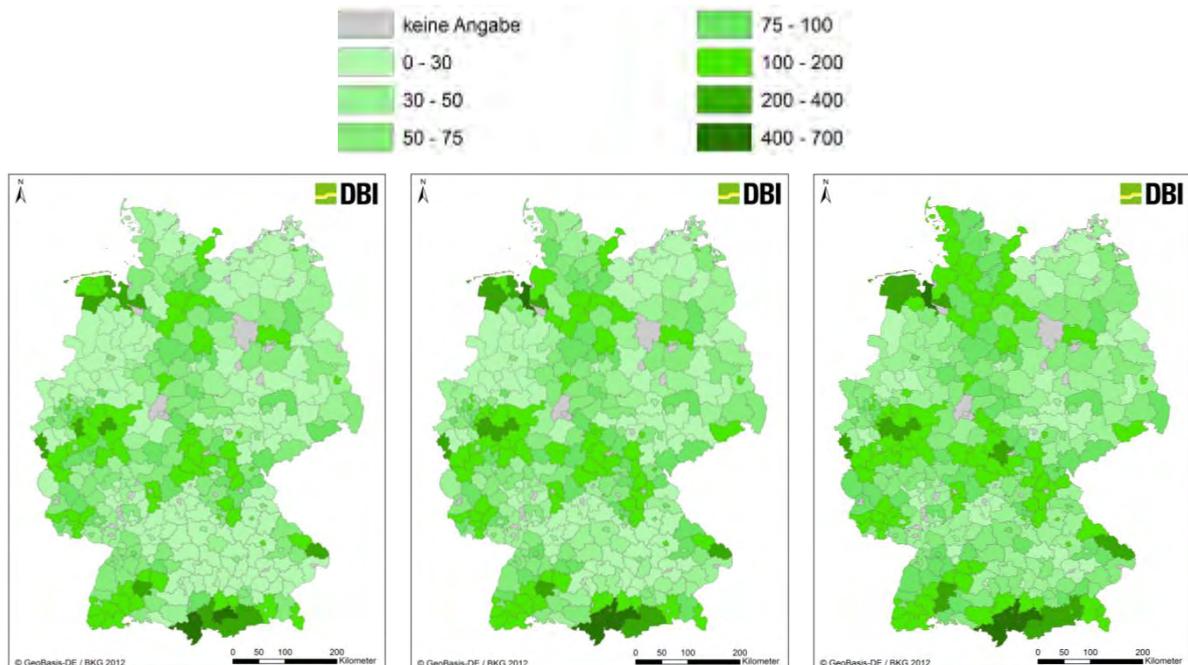


Abbildung 53: Theoretisches Biomethanpotenzial von Dauergrünland in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.2.4 Stroh

Unter dem Begriff Stroh versteht man trockene Halme, Stängel und Blätter von ausgedroschenen Getreidearten, Hülsenfrüchten und von Öl- und Faserpflanzen [TLL 2008]. In dieser Studie werden dabei Getreide- und Rapsstroh näher betrachtet.

In Deutschland beträgt der Getreidestrohaufwuchs jährlich ca. 8,7 Mio. t [DBFZ 2011]. Rapsstroh fällt in einer Menge von jährlich ca. 15,3 Mio. t an ([STB 2010d], [STB 2010e]). Der große Unterschied zwischen Raps- und Getreidestroh liegt insbesondere im unterschiedlichen Korn-Stroh-Verhältnis begründet. Bei Raps fällt deutlich mehr Stroh an als bei Getreide.

6.2.4.1 Getreidestrohpotenzial

Das theoretische Getreidestrohpotenzial basiert auf den anfallenden Getreidemengen, welche vom Statistischen Bundesamt veröffentlicht werden. Anhand der jeweiligen Korn-zu-Stroh-Verhältnisse erfolgte dabei die Ermittlung der Strohmenngen. Die Kennzahlen hierzu sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

Tabelle 32: Korn-zu-Stroh-Verhältnisse unterschiedlicher Getreidearten [LEIBLÉ 2003]

Getreideart	Korn-zu-Stroh-Verhältnis
Weizen	1:0,9
Roggen	1:1,4
Wintergerste	1:1,0
Sommergerste	1:1,1
Hafer	1:1,2
Triticale	1:1,4

Unter Berücksichtigung von regionalen Parametern wie Bodenfruchtbarkeit, Ertragskennwerten, Anbaukennzahlen und Ackerflächenverteilung erfolgte daraufhin die standortspezifische Ermittlung des *theoretischen Potenzials* aus Getreidestroh (Methangasertrag für Stroh von 161 Nm³ CH₄/t FM nach [BMV 2012]). Dieses beträgt 5,9 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 211,2 PJ pro Jahr.

Zur Ermittlung eines nachhaltigen Getreidestrohpotenzials ist die Frage zu klären, wie viel Stroh auf dem Feld zur Humusneubildung verbleiben muss. Hierzu gibt es verschiedene Methoden zur Ermittlung.

Tabelle 33: Methoden zur Ermittlung eines nachhaltigen Getreidestrohpotenzials

	VDLUFA	HE-Methode
Methode	Herausgegeben vom Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten	Dynamische Humuseinheiten-Methode
Werte für Humusbedarf und Humusreproduktion	statisch	variabel
Inhalt	Kennwerte aus langjährigen Fruchtfolge-Düngungsversuchen anhand der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik im Boden abgeleitet - untere Werte: gepflegter Boden, weniger Stroh notwendig - obere Werte: jahrelang unterversorgter Boden (mehr Stroh nötig)	In Berechnung fließen ein: - Ertragshöhe - Mineraldüngung - N-Immission - Niederschlag - Bodengüte
Humusreproduktion	100 kg Humus C/t Stroh	70 kg Humus C/t Stroh

Wie aus oben stehender Tabelle zu entnehmen, verbleibt bei der HE-Methode mehr Stroh zur Humusbildung auf dem Feld als bei der VDLUFA-Methode (Grund: geringere Humusreproduktion). In diesem Bericht wird deshalb das technische Potenzial konservativ anhand der HE-Methode ermittelt. Das *technische Potenzial* aus Getreidestroh entspricht demnach 1,2 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 43,0 PJ pro Jahr [DBFZ 2011].

6.2.4.2 Rapsstrohpotenzial

Die Bestimmung des Rapsstrohpotenzials erfolgte unter Nutzung folgender Faktoren:

- Korn-zu-Stroh-Verhältnis: 1:2,9 [KALTSCHMITT 2009]
- Methangasertrag: 98 Nm³ CH₄/t FM [LFL 2004]

Unter Berücksichtigung von Standortfaktoren (Bodenfruchtbarkeit etc.) erfolgte anschließend eine standortgenaue Ackerflächenzuordnung. Das *theoretische Potenzial* aus Rapsstroh beträgt 1,5 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 53,7 PJ pro Jahr.

Unter der Annahme, dass 65 % des Rapsstrohs geborgen werden können ([KALTSCHMITT 2009]), ist das *technische Potenzial* von Rapsstroh berechnet worden. Dieses beträgt 977 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 35,0 PJ pro Jahr.

6.2.4.3 Gesamtstrophotenzial

Insgesamt existiert somit ein *theoretisches Biomethangaspotenzial* aus Stroh von 7,5 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 268,5 PJ pro Jahr und ein *technisches Potenzial* von 2,2 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 78,8 PJ pro Jahr.

In nachfolgender Tabelle ist die deutschlandweite Verteilung der Getreide- und Rapsstrohmengen dargestellt.

Tabelle 34: Getreide- und Rapsstrohaufwuchs in Deutschland 2007 (Getreidestroh: [DBFZ 2011], Rapsstroh nach [STB 2007])

Bundesland	Getreidestrohaufwuchs in t	Rapsstrohaufwuchs in t
Baden-Württemberg	1.021.656	858.530
Bayern	1.721.177	1.992.251
Berlin	0	920
Brandenburg	107.165	1.164.058
Bremen	0	1.841
Hamburg	0	6.553
Hessen	619.884	677.324
Mecklenburg-Vorpommern	282.869	2.540.055
Niedersachsen	723.740	1.362.721
Nordrhein-Westfalen	1.236.291	740.654
Rheinland-Pfalz	1.013.569	430.353
Saarland	20.252	34.184
Sachsen	491.422	1.253.572
Sachsen-Anhalt	281.759	1.639.540
Schleswig-Holstein	494.799	1.049.880
Thüringen	714.643	1.174.723
Deutschland	8.729.226	14.927.160
Deutschland, gesamt	23.656.386	

Zur Berechnung des *wirtschaftlichen Potenzials* werden der Marktpreis (liegt nach [LWK NS 2011] für Stroh durchschnittlich bei 28 €/t), der sich daraus ergebende spezifische MGE-Preis, die EEG-Vergütung und der oTS-Gehalt berücksichtigt. Vor dem Hintergrund der Bezugskosten ist Stroh ein günstiges Einsatzsubstrat für Biogasanlagen. Bei der Stroh-Potenzialermittlung ist zudem der Einstreubedarf in Tierställen zu berücksichtigen. Für Rinder werden im Durchschnitt 1,5 kg Stroh pro Tier und Tag als Einstreu benötigt. In Schweineställen werden durchschnittlich 0,5 kg Stroh pro Tier und Tag genutzt. In Geflügelställen beträgt die Einstreumenge pro Tier und Tag 0,02 kg [SCHOLZ 2001]. Der entstehende Mist findet dabei vielerorts auch als Gärsubstrat für Biogasanlagen Verwendung. Des Weiteren ist zu beachten, dass Stroh energetisch genutzt wird. Neben Kleinf Feuerungsanlagen erfolgt auch in Heizwerken (Nah-, Fernwärme) und (Heiz-)Kraftwerke eine energetische Nutzung von Stroh [THRÄN 2008].

Stroh kann als Biogasanlagensubstrat zum Einsatz kommen, jedoch bereitet die Vergärung von Stroh aufgrund des hohen Ligningehaltes aktuell große Probleme. Nur einige wenige (Versuch-)Biogasanlagen nutzen deshalb Stroh als Einsatzsubstrat (Stand Frühjahr 2012). Der aktuell mögliche Nutzungsgrad für Stroh als Biogasanlagensubstrat liegt in Anlehnung an Aussagen von [KRIEG 2012], [THRÄN 2008], [ZELLER 2011] und [TLL 2012] demnach deutschlandweit derzeit bei ca. 1 %. Das *wirtschaftliche Potenzial* aus Stroh beträgt somit unter Berücksichtigung dieser Faktoren (Nutzungsgrad) 1,3 Mrd. Nm³ Biomethan bzw. 46,5 PJ pro Jahr.

Abbildung 54 zeigt das theoretische, technische und wirtschaftliche Potenzial aus Raps- und Getreidestroh. Flächen mit hohem Potenzial sind deutschlandweit verteilt, doch vor allem in Regionen um den Harz, im Norden Mecklenburg-Vorpommerns und in Bayern/Baden-Württemberg sind hohe theoretische Potenziale vorhanden. Das technische Potenzial ist gegenüber dem theoretischen deutlich reduziert. In der Darstellung des wirtschaftlichen Potenzials ist eine deutliche Tendenz erkennbar, dass in den Regionen mit viel Viehhaltung (Niedersachsen, Bayern) auch viel wirtschaftliches Potenzial vorhanden ist.

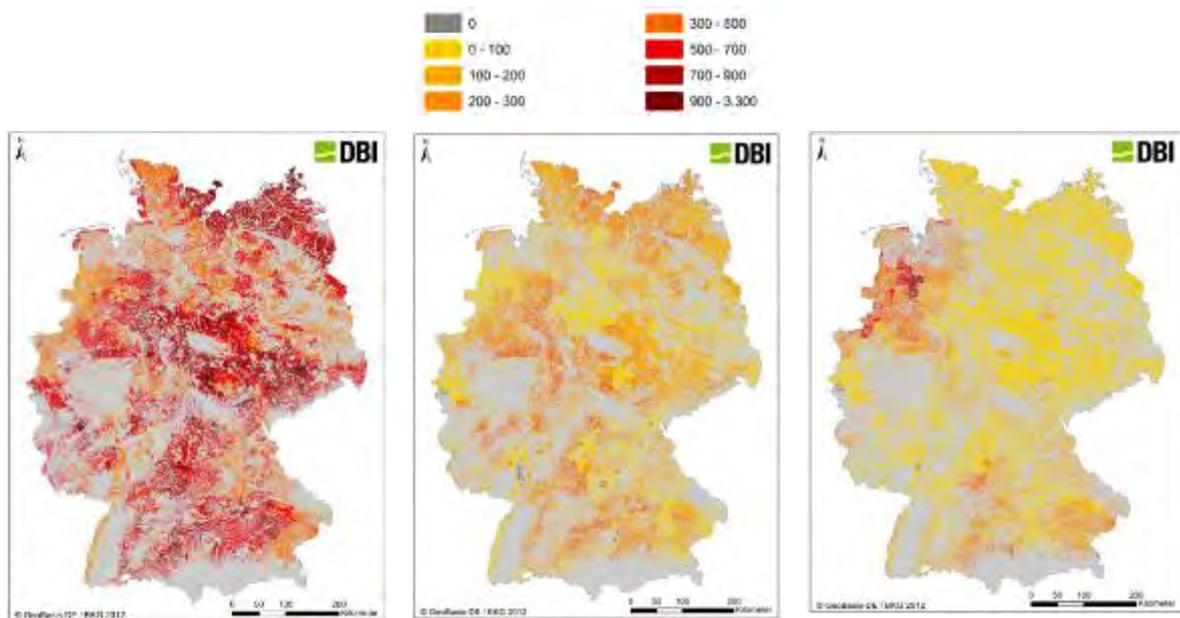


Abbildung 54: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial aus Getreide- und Rapsstroh in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$

Vergleicht man technische Strohpotenziale anderer Studien mit den in der vorliegenden Studie, zeigt sich eine Spannweite von 1,4 bis ca. 2,9 Mrd. Nm^3 Biomethan bzw. 50,1 bis 103,8 PJ pro Jahr. [KALTSCHMITT 2003] geht davon aus, dass unter Berücksichtigung von konkurrierenden Nutzungsanforderungen (Erhaltung des Nährstoffkreislaufes des Bodens, Einstreubedarf bei der Tierhaltung, Gärtnereibedarf etc.) etwa 20 % des Gesamtstrohaufkommens nutzbar sind (technisches Potenzial). Aus dieser Studie geht nicht hervor, dass Fruchtbarkeitsstufen und spezifische Erträge der Landkreise mit in die Rechnung einfließen.

In [BMU 2008] geht man von einem Energiepotenzial für Stroh von 100,9 PJ pro Jahr aus. Zu den Berechnungsgrundlagen wird jedoch keine Angabe gemacht.

Deutlich unter dem Potenzial aus dem DVGW-Biogasatlas liegt das in [BMU 2004a] angegebene Potenzial mit 1,4 Mrd. Nm^3 Biomethan bzw. 50,1 PJ pro Jahr. Diese Studie berücksichtigt nicht näher spezifizierte Naturschutzbelange und Nachhaltigkeitsziele bei der Ermittlung des Potenzials. Dieses technische Potenzial liegt in der Größenordnung des im DVGW-Biogasatlas berechneten wirtschaftlichen Potenzials.

Die Studie [BMU 2004b], welche zwei Monate nach [BMU 2004a] erschien, wiederum geht, von einem Strohpotenzial von 2,5 Mrd. Nm^3 Biomethan bzw. 89,5 PJ pro Jahr aus, welches in der Größenordnung des DVGW-Biogasatlas liegt. In [BMU 2004b] werden dabei Abzüge für Einstreu, Bodeneinarbeitung und eine Mobilisierungsrate von 90 % eingerechnet.

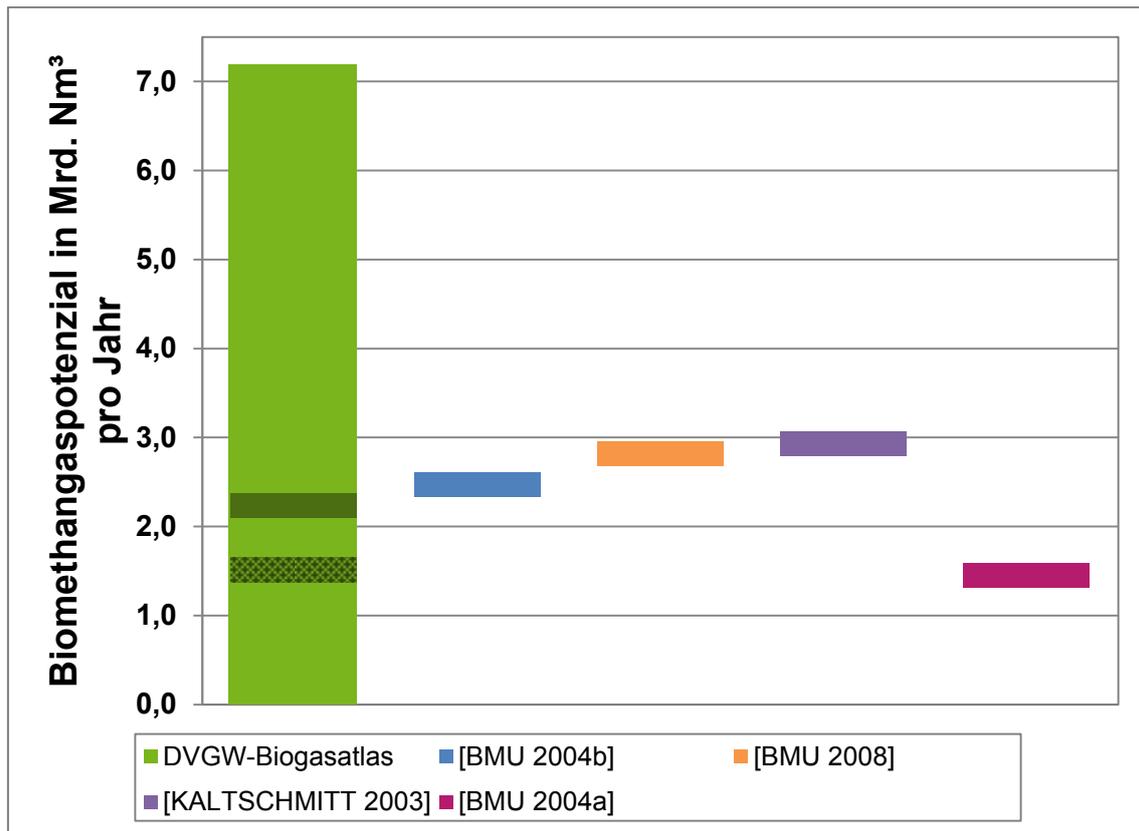


Abbildung 55: Biomethangaspotenzial aus Getreidestroh und Rapsstroh im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; obere Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben; untere Linie: wirtschaftliches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Getreide-/Rapsstroh

Da jede der beiden Pflanzenarten einen eigenen Entwicklungstrend aufweist, erfolgt zunächst eine separierte Betrachtung und abschließend eine Aufsummierung des erwarteten Methangasertrages. Grundlage für die Prognose bilden die vom Statistischen Bundesamt erfassten Anbauflächen und Hektarerträge der letzten Jahre. Die daraus bestimmten Erntemengen ergeben zusammen mit dem jeweiligen Korn-zu-Stroh-Verhältnis die Menge an Ernterestmengen. Um die jährlichen Schwankungen der Erntemengen aufgrund des Wetteinflusses auszugleichen, erfolgt eine lineare Mittelung und eine Fortführung dieses Trends. Abbildung 56 bis Abbildung 58 zeigen die berechneten Ernterestmengen mit ihren entsprechenden Prognosen bis 2030.

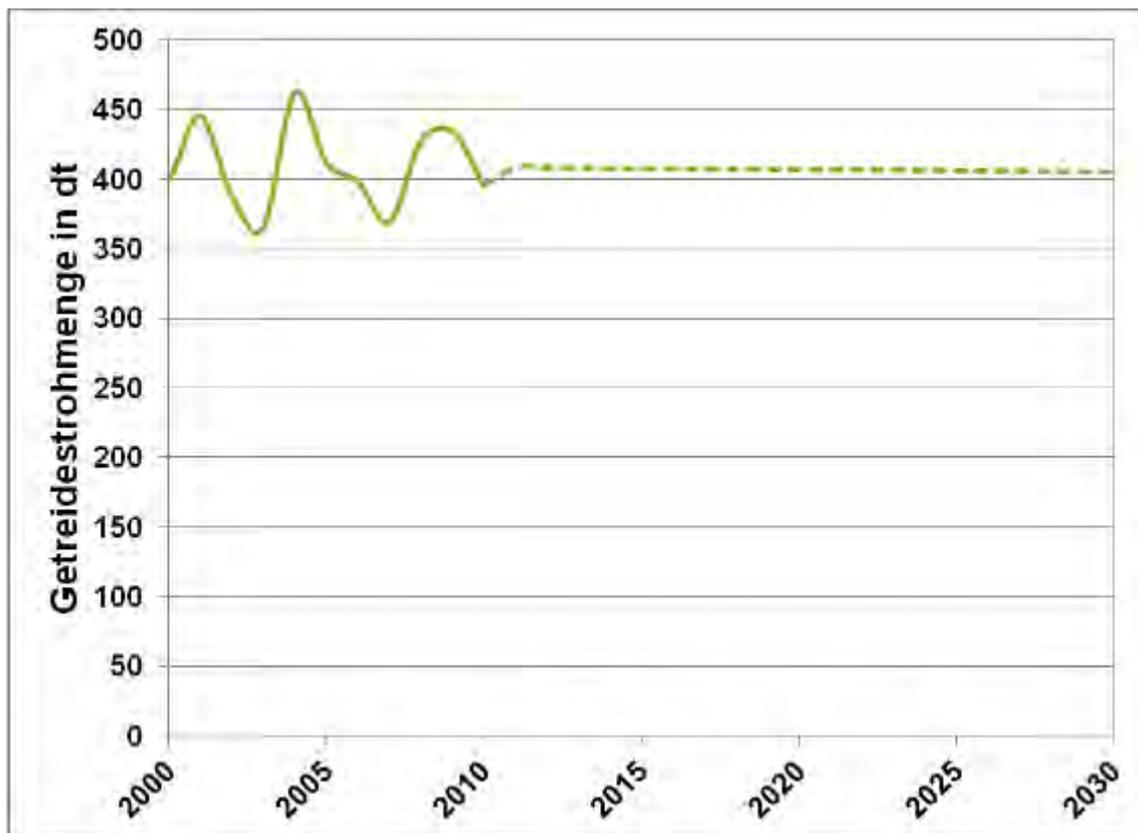


Abbildung 56: Entwicklung und Prognose des Getreidestrohvorkommens von 2000 bis 2030 [STB 2012j, STB 2012k, eigene Berechnung]

Da die mittlere Getreidestrohmenge der letzten Jahre annähernd konstant mit leicht sinkender Tendenz verläuft, wird für die Zukunft eine jährliche relative Abnahme von 0,04 % prognostiziert. Für 2030 ergeben sich somit etwa 40,5 Mio. t Getreidestroh. Dieses setzt sich aus Stroh der Weizen-, Roggen-, Gerste-, Hafer- und Triticaleernte zusammen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die prognostizierten Werte weder über noch unter den in den letzten Jahren erzielten Mengen liegen (Abbildung 56).

Die Entwicklung der Raps- und Rapsstroherntemengen zeigt eine starke Zunahme innerhalb der letzten Jahre. Der Anreiz für Landwirte Raps anzubauen, liegt einerseits begründet in sehr guten Deckungsbeiträgen aufgrund der aktuell knappen Versorgungslage (Biodieselproduktion). Andererseits weisen Rapspflanzen infolge des züchterischen Fortschritts Vorteile in den Parametern Hektarertrag, Pflanzengesundheit Standfestigkeit und Winterhärte auf [RWZ 2010]. Setzt sich der zunehmende Rapsanbau fort, so liegen 2030 Rapsstrohmengen von etwa 23,5 Mio. t vor. Diese Steigerung entspricht etwa 43 % zum Vergleichsjahr 2010. Jedoch ist der Rapsanbau ähnlich wie beim Mais aufgrund nachhaltiger Kriterien nicht unbegrenzt möglich. [FRUCHTFOLGE 2012] gibt für den Rapsanbau einen maximalen Wert von 25 % von der gesamten Ackerfläche an. Da die Ackerfläche insgesamt in Deutschland nur sehr schwach schwankt, wird ein konstanter Verlauf bis 2030 zugrunde gelegt. In Abbildung 57 ist zu erkennen, dass auch durch die prognostizierte Steigerung des Rapsanbaus lediglich etwa die Hälfte des maximalen Anteils aufgrund der Fruchtfolge erreicht wird. In die prognostizierte Rapsanbaufläche

fließt auch eine Steigerung des Hektarertrages ein. Diese liegt für 2030 bei 50,9 dt/ha (Vergleich 2010: 39,0 dt/ha). Die Steigerung des Hektarertrages um etwa 30 % ist realistisch, da bereits zum heutigen Zeitpunkt auf einzelnen Flächen Erträge von über 50 dt/ha erzielt werden [SAATENUNION 2009]. Aufgrund des erhöhten Hektarertrages steigt die Anbaufläche für Raps nur langsam an und wächst bis 2030 um etwa 3,5 % im Vergleich zum bisherigen Maximalwert von 2007 an. Die aktuelle Diskussion zur Nutzung von Raps zur Biodieselproduktion bleibt aufgrund ihres ungewissen Ausgangs in der Prognose unberücksichtigt. Es wird somit unterstellt, dass es keine rechtlichen Veränderungen geben wird.

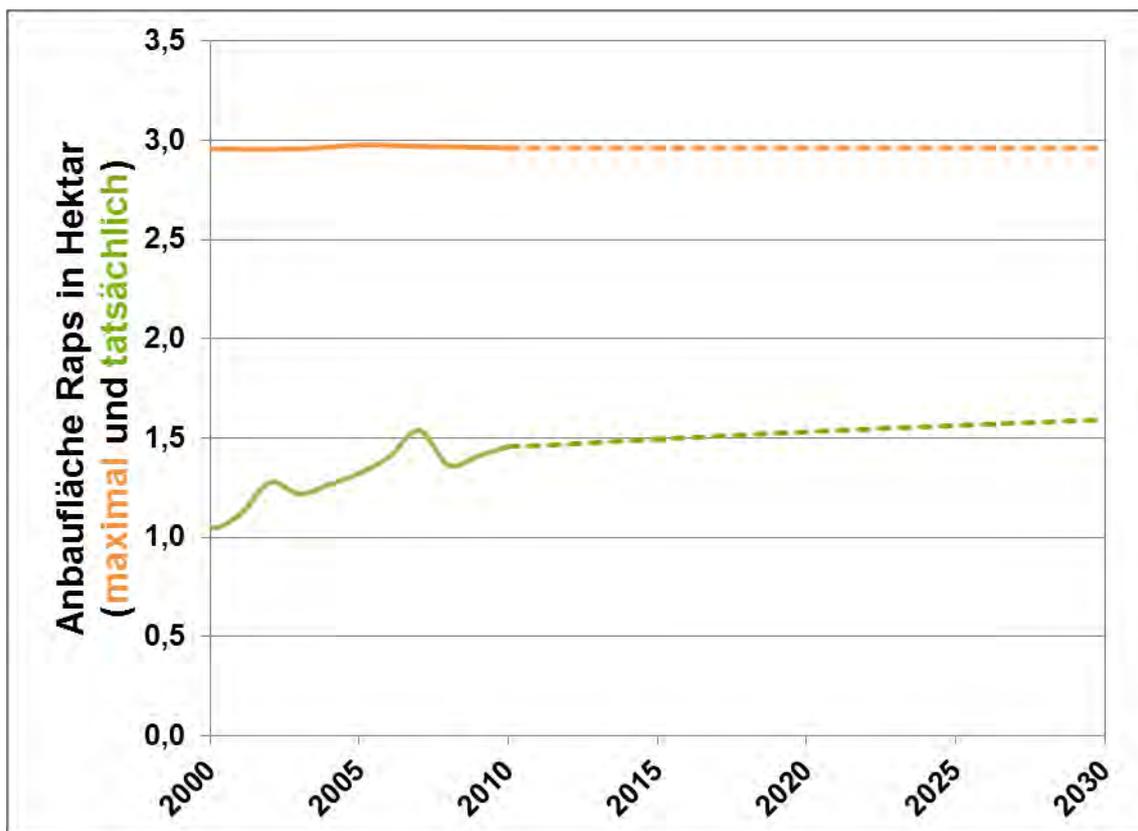


Abbildung 57: Entwicklung der Rapsanbaufläche von 2000 bis 2030 im Vergleich zur maximalen Anbaufläche aufgrund der Fruchtfolge

Um eine Aussage über das zukünftige Potenzial von Ernterestmengen treffen zu können, müssen die einzelnen Substrate auf eine vergleichbare Einheit gebracht werden. Über den substratspezifischen Methangasertrag kann der jeweilige Methangasertrag in Nm^3/a angegeben werden (Tabelle 35).

Tabelle 35: theoretische Biomethangaserträge der Strohmenigen in Mio. Nm³ CH₄/a von 2010 sowie den Prognosejahren 2015, 2020 und 2030

Jahr	Getreidestroh	Rapsstroh
2010	5.780	1.460
2015	6.370	1.740
2020	6.370	1.900
2030	6.340	2.230

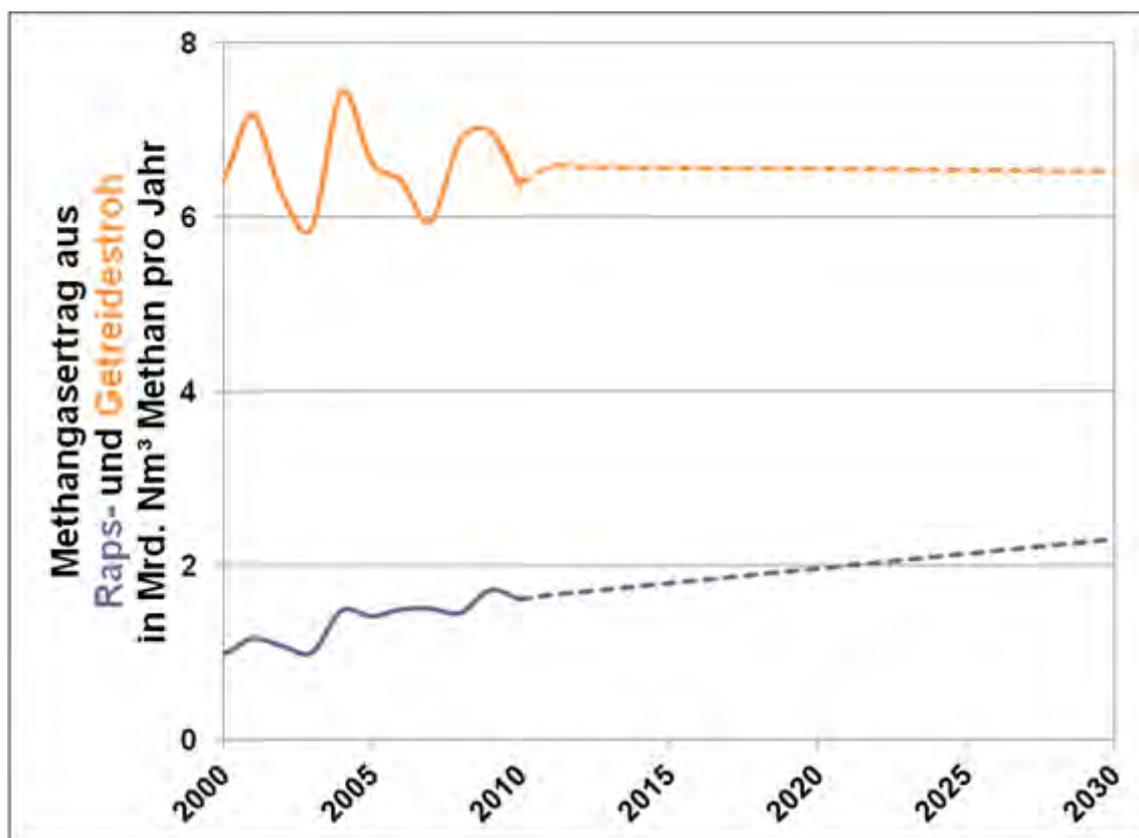


Abbildung 58: Entwicklungsprognose des Potenzials aus Stroh bis 2030

Die Regionalisierung der deutschlandweiten Prognosen erfolgt zuerst auf Landkreisebene und anschließend auf die einzelnen Ackerflächen (Abbildung 59). Dabei werden regionale Parameter durch Fruchtbarkeitsklassen berücksichtigt. Ausgangspunkt sind die berechneten Daten für das aktuelle Biogaspotenzial. Die Aufteilung erfolgt im gleichen Verhältnis zur aktuellen Potenzialermittlung, sodass ertragsstarke Gebiete auch zukünftig ihren Stellenwert behalten. Für das technische Potenzial aus Getreidestroh findet abermals die HE-Methode Anwendung. Dabei wird die Strohmenge, welche zum heutigen Zeitpunkt aus Fruchtbarkeitsgründen auf dem Feld verbleiben soll, auch für die folgenden Jahre festgesetzt. Das zukünftige technische Strohpotenzial ergibt sich somit aus der Differenz zwischen dem prognostizierten theoretischen Strohpotenzial und der derzeitigen für die Humusbildung benötigten Strohmenge. Das technische Potenzial von Rapsstroh ergibt sich unter denselben Annahmen wie bei der aktuellen Potenzialermittlung.

Die prozentualen Abzüge aufgrund der Bergungsrate betragen 65 %. Hinzu kommen die in der Viehhaltung eingesetzten Stroh-Einstreumengen. Diese sind abhängig von den prognostizierten Tierzahlen (s. Kapitel 6.2.1). Abzüge aus wirtschaftlicher Sicht erfolgen nicht.

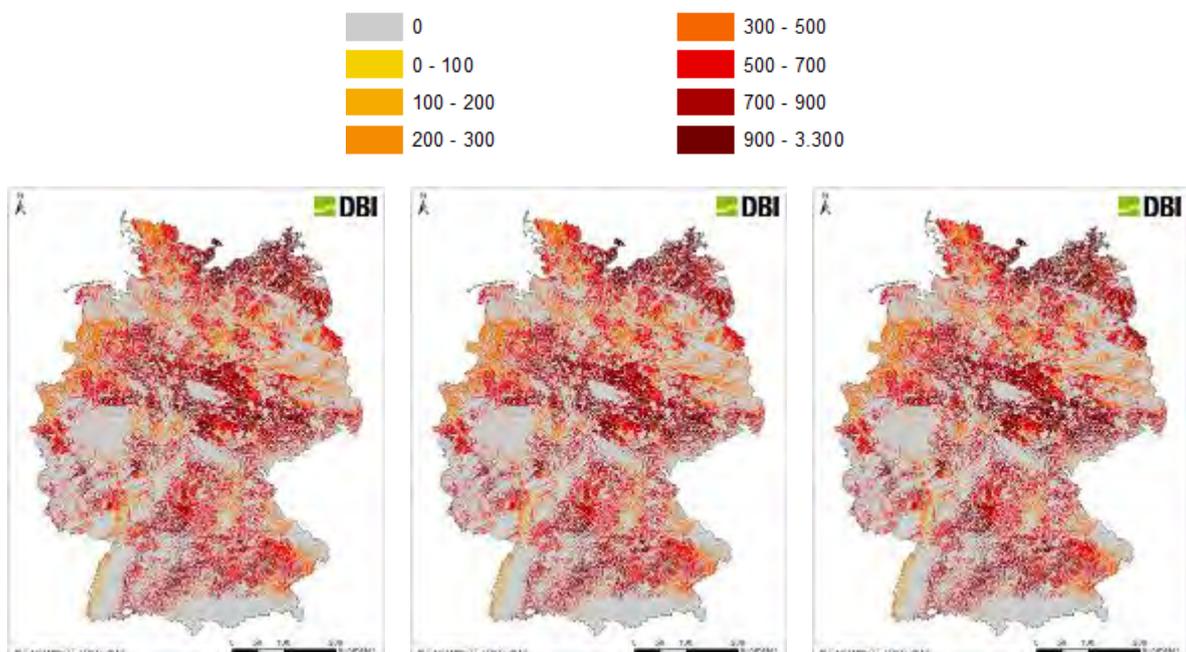


Abbildung 59: Theoretisches Biomethanpotenzial von Raps- und Getreidestroh in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.2.5 Rüben- und Kartoffelblatt

Neben Stroh von Getreide und Raps werden auch Erntereste wie Rüben- und Kartoffelblatt in die Potenzialanalysen einbezogen. Im Jahr 2007 wurden 25,1 Mio. t Rüben und 11,8 Mio. t Kartoffeln angebaut (Berechnungen nach [STB 2007]). Unter Beachtung des Korn-zu-Stroh- bzw. Blatt-Frucht-Verhältnisses bei Kartoffeln von 1:0,15 [LWK 2011] bzw. 1:0,6 bei Rübenblatt [KALTSCHMITT 2009] wird die anfallende Menge an Ernteresten aus dem Kartoffel- und Zuckerrübenanbau berechnet. Deutschlandweit sind demnach 1,8 Mio. t Kartoffelblatt und 16,7 Mio. t Rübenblatt erfassbar.

Aufbauend auf den Felderträgen der Landkreise wird standortspezifisch mit Hilfe des Korn-zu-Stroh- bzw. Blatt-Frucht-Verhältnisses die anfallende Menge an Ernteresten bestimmt. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Methangaserträge (Kartoffelblatt: $30 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t FM}$ [LFL 2004], Rübenblatt: $31 \text{ Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t FM}$ [KWS 2011]), einer Einordnung in eine Fruchtbarkeitskategorie und Aufteilung auf die vorhandenen Ackerflächen wird anschließend das *theoretische Potenzial* aus Kartoffel- und Rübenblatt berechnet. Dieses beträgt deutschlandweit 573 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. $20,5 \text{ PJ}$ pro Jahr.

Tabelle 36: Kartoffel- und Rübenblattaufwuchs in Deutschland nach [STB 2007]

Bundesland	Kartoffelblatt in t(FM)	Rübenblatt in t(FM)
Baden-Württemberg	33.050	785.160
Bayern	368.120	3.472.460
Berlin	0	0
Brandenburg	51.010	341.290
Bremen	0	0
Hamburg	100	0
Hessen	27.600	687.230
Mecklenburg-Vorpommern	91.900	892.280
Niedersachsen	790.180	4.250.380
Nordrhein-Westfalen	221.520	2.739.110
Rheinland-Pfalz	50.540	50.540
Saarland	880	0
Sachsen	45.010	631.880
Sachsen-Anhalt	88.510	1.966.870
Schleswig-Holstein	31.390	436.640
Thüringen	5.290	419.790
Deutschland	1.805.100	16.673.630
Deutschland gesamt	18.478.730	

Zur Bestimmung des technischen Potenzials sind die Bergungsquoten zu berücksichtigen. Von dem nach der Ernte auf dem Feld verbleibenden Kartoffelblatt kann nach [KALTSCHMITT 2009] durchschnittlich nur 10 % geborgen werden. Die Bergungsquote von Rübenblatt liegt bei 17,5 % [KALTSCHMITT 2009]. Abzüglich dieser Faktoren ist ein *technisches Potenzial* von 96 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 3,4 PJ pro Jahr festzustellen.

Bei den Substraten Rübenblatt und Kartoffelblatt kann davon ausgegangen werden, dass die Marktpreise noch unter dem des Stroh liegen. Da keine weitere Aufbereitung der Substrate notwendig ist, sind diese beiden Substrate in Biogasanlagen aus wirtschaftlicher Sicht einsetzbar. Das *wirtschaftliche Potenzial* entspricht somit dem technischen Potenzial.

In folgender Abbildung sind das theoretische und das technische Potenzial aus den Ernteresten Kartoffel- und Rübenblatt dargestellt. Es sind deutliche Vorranganbauggebiete in Deutschland zu erkennen. Vor allem nördlich des Harzes, an der westlichen Grenze Deutschlands und in Teilen Süddeutschlands werden große Mengen an Kartoffeln und Zuckerrüben angebaut, sodass auch dementsprechend viele Erntereste anfallen. Das technische Potenzial ist wesentlich geringer als das theoretische Potenzial.

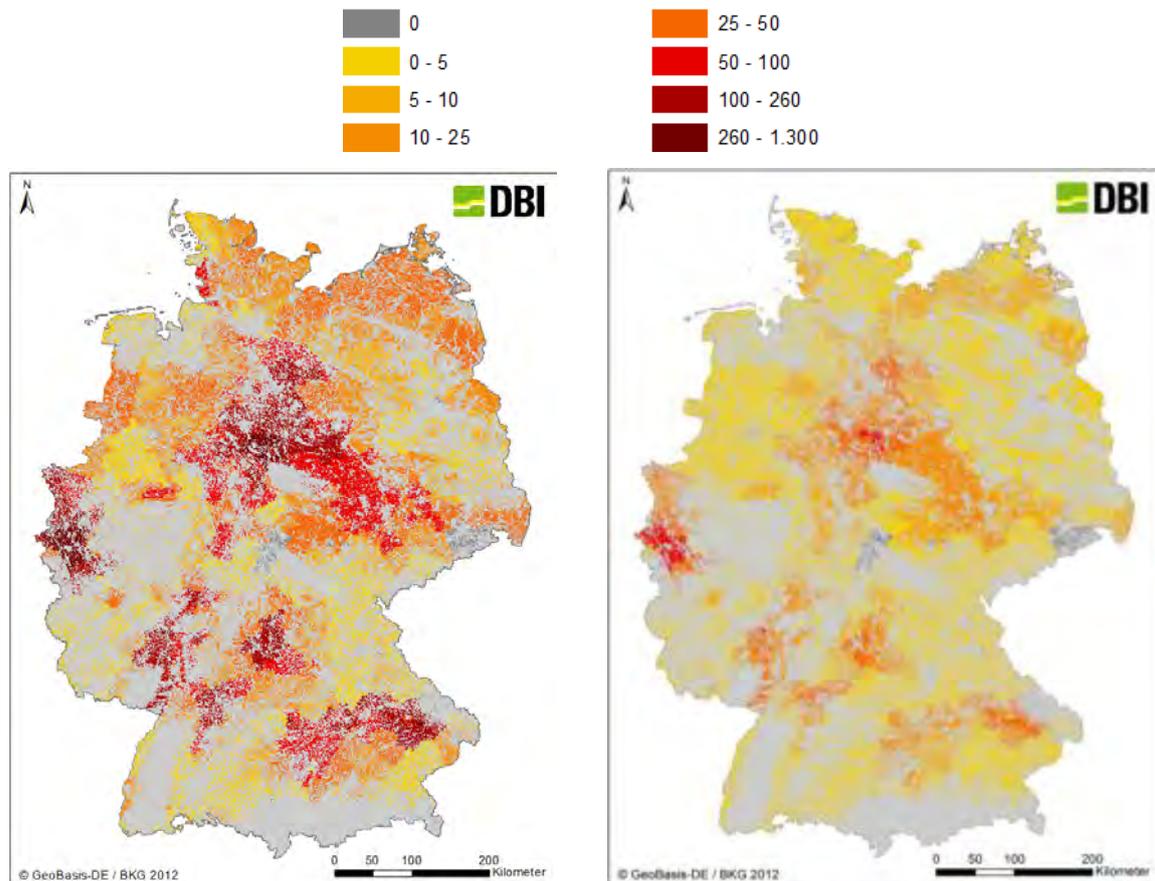


Abbildung 60: Theoretisches (links) und technisches (rechts) Biomethanpotenzial aus Rüben- und Kartoffelblatt in Nm³ CH₄/ha

Im Vergleich der Potenziale aus Kartoffelkraut des DVGW-Biogasatlas mit weiteren Studien zeigt sich, dass das hier ermittelte Potenzial mit Abstand am geringsten ist (vgl. Abbildung 61). Es existiert eine Spannweite von 5,3 bis 229,6 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 0,2 bis 8,2 PJ pro Jahr. Sowohl [KALTSCHMITT 2003] als auch [BMU 2004b] gehen von einem anderem Korn-zu-Stroh-Verhältnis bzw. Rüben-Blatt-Verhältnis aus, sodass mehr Kartoffelkraut pro Pflanze vorhanden wäre. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass 50 % des Kartoffelkrauts technisch verfügbar sind. Hingegen wird im DVGW-Biogasatlas angenommen, dass lediglich 10 % technisch nutzbar sind. Weiterhin wird in [KALTSCHMITT 2003] eine Spannweite der Potenziale angegeben.

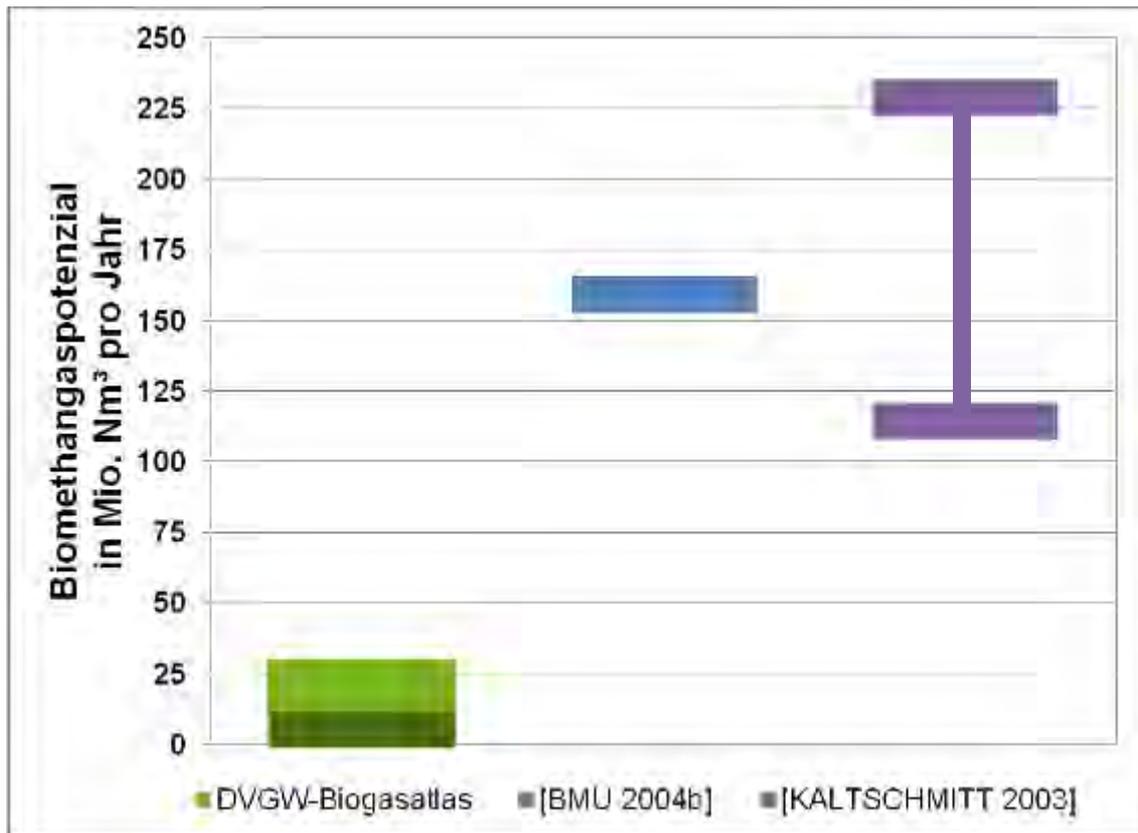


Abbildung 61: Biomethangaspotenzial aus Kartoffelkraut im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Auch beim Vergleich mehrerer Studien, die das technische Potenzial aus Rübenblatt bestimmt haben, sind deutliche Unterschiede feststellbar (vgl. Abbildung 62). Wieder ist das technische Potenzial des DVGW-Biogasatlas aufgrund der geringeren Bergungsquoten niedriger. Die Spannweite beträgt 53,0 bis 329,8 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 1,9 bis 11,8 PJ pro Jahr. Auch für Rübenblatt wird eine Spannweite in [KALTSCHMITT 2003] angegeben.

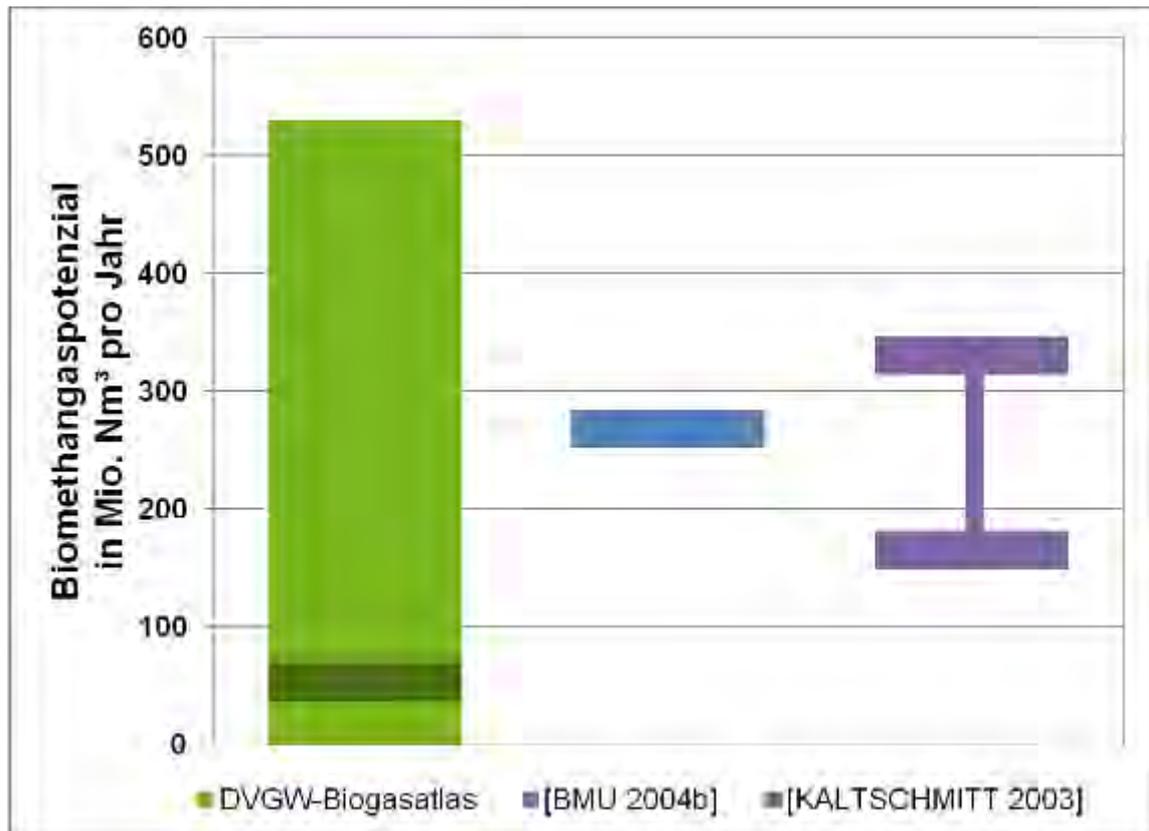


Abbildung 62: Biomethangaspotenzial aus Rübenblatt im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Rüben-/ Kartoffelblatt

Da wiederum jedes der Anbauprodukte einen eigenen Entwicklungstrend aufweist, erfolgt zunächst eine separierte Betrachtung und abschließend eine Aufsummierung des erwarteten Methangasertrages. Grundlage für die Prognose bilden die vom Statistischen Bundesamt erfassten Anbauflächen und Hektarerträge der letzten Jahre. Die daraus bestimmten Erntemengen ergeben zusammen mit dem jeweiligen Frucht-zu-Blatt-Verhältnis die Menge an Ernterestmengen. Um die jährlichen Schwankungen der Erntemengen aufgrund des Wittereinflusses auszugleichen, erfolgt eine lineare Mittelung und eine Fortführung dieses Trends. Abbildung 63 bis Abbildung 65 zeigen die berechneten Ernterestmengen mit ihren entsprechenden Prognosen bis 2030.

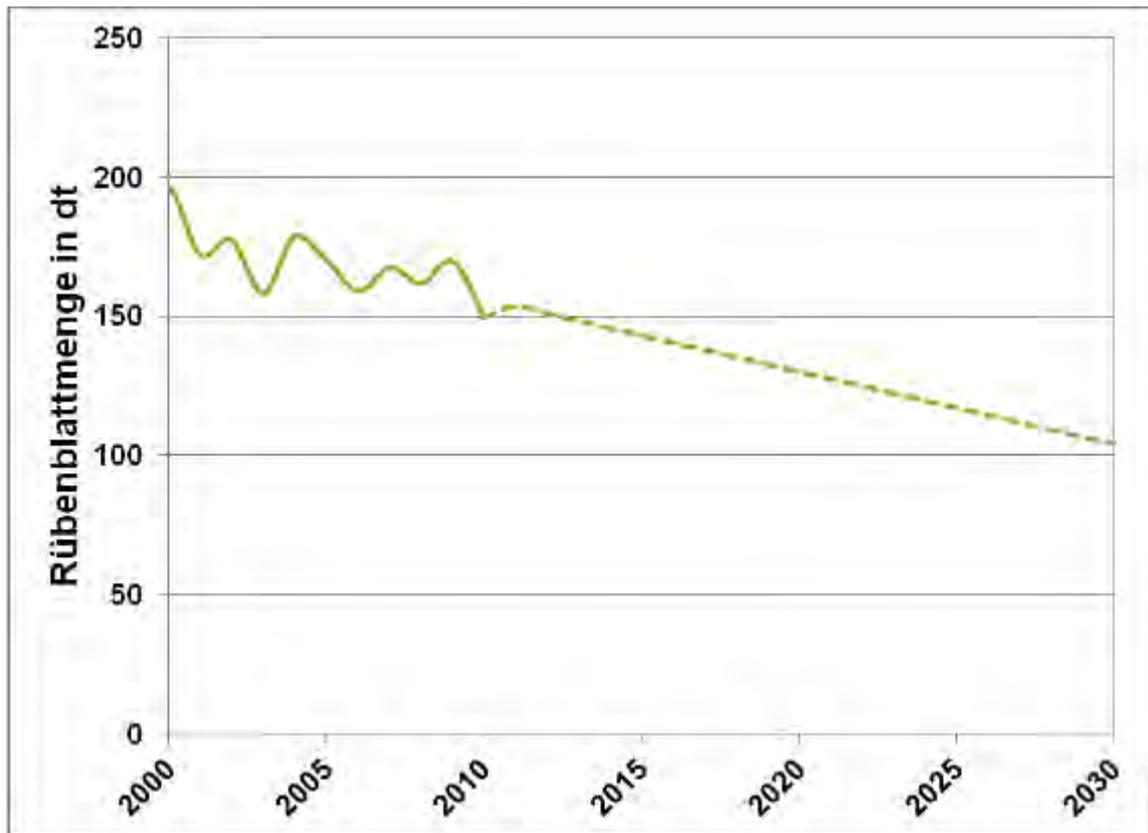


Abbildung 63: Entwicklung und Prognose des Rübenblattvorkommens von 1999 bis 2030 [STB 2012j, STB 2012k, eigene Berechnung]

Trotz jährlicher Schwankungen ist eine tendenzielle Abnahme bei der Rüben- bzw. Rübenblatterntemenge zu verzeichnen. Aufgrund steigender Hektarerträge infolge des biologisch technischen Fortschrittes wird eine weitere Abnahme der Anbaufläche vorhergesagt. Ursache für den Rückgang ist ein sinkender Zuckerbedarf infolge einer sinkenden Bevölkerungszahl bei annähernd konstantem Pro-Kopf-Verbrauch [KOERBER 2009]. Setzt sich der Trend für die Rübenblatterntemenge weiter fort, liegen 2030 lediglich 10,4 Mio. t vor. Das entspricht einem Rückgang von etwa 30 % zu 2010.

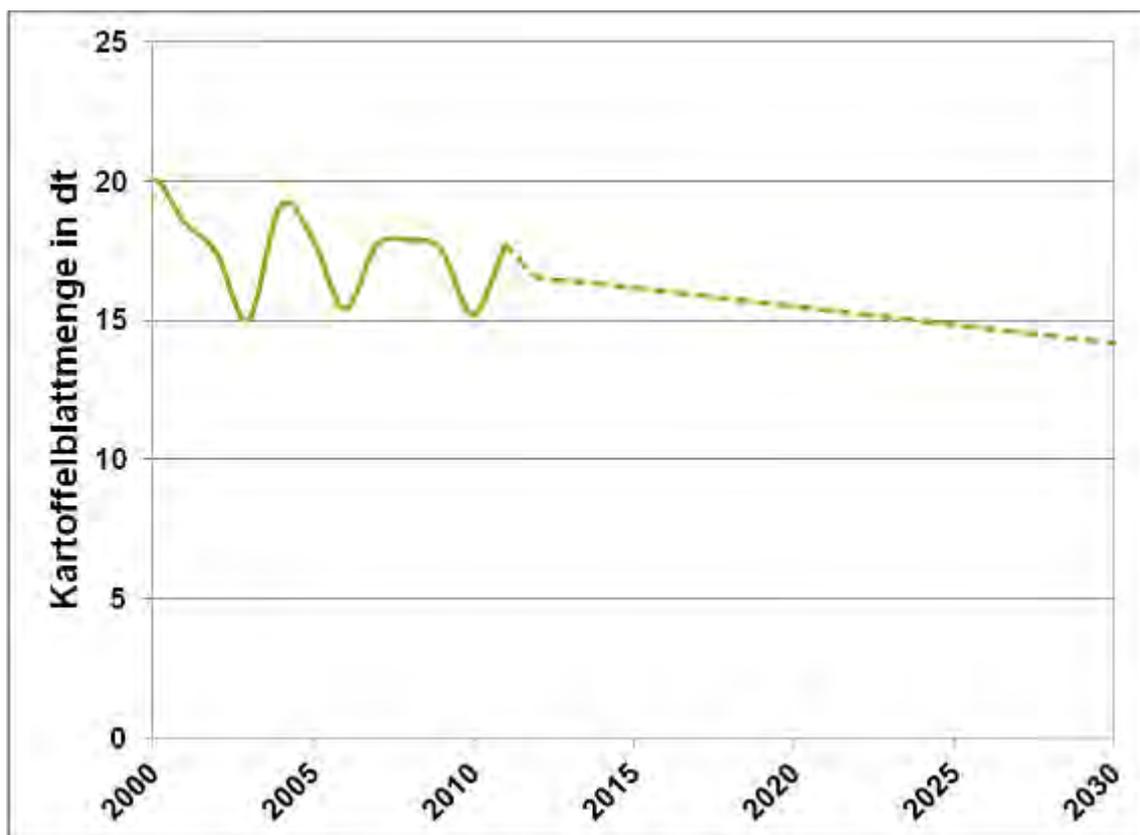


Abbildung 64: Entwicklung und Prognose des Kartoffelblattvorkommens von 1999 bis 2030 [STB 2012j, STB 2012k, eigene Berechnung]

Ähnlich wie beim Rübenblatt sinkt im Mittel auch die Kartoffelblatterntemenge seit 1999. Ursache ist die Konkurrenz des Imports beispielsweise in Form von ägyptischer oder israelischer Frühkartoffeln [PROPLANTA 2012]. Wird der sinkende Trend bis 2030 fortgesetzt so stehen 1,4 Mio. t Kartoffelblatt zur Verfügung. Dies entspricht einem Rückgang von etwa 20 % im Vergleich zu 2011, aber nur von etwa 7 % zu 2010.

Tabelle 37: Biomethangaserträge von Rüben- und Kartoffelblatt in Mio. Nm³ CH₄/a von 2010 sowie den Prognosejahren 2015, 2020 und 2030

Jahr	Kartoffelblatt	Rübenblatt	Erntereste, gesamt
2010	46	464	8.490
2015	49	444	8.850
2020	47	403	8.960
2030	43	323	9.190

Tabelle 38: Bergungsraten von Rapsstroh, Kartoffel- und Rübenblatt
[KALTSCHMITT 2009]

Substrat	Bergungsrate
Kartoffelblatt	10 %
Rübenblatt	17,5 %

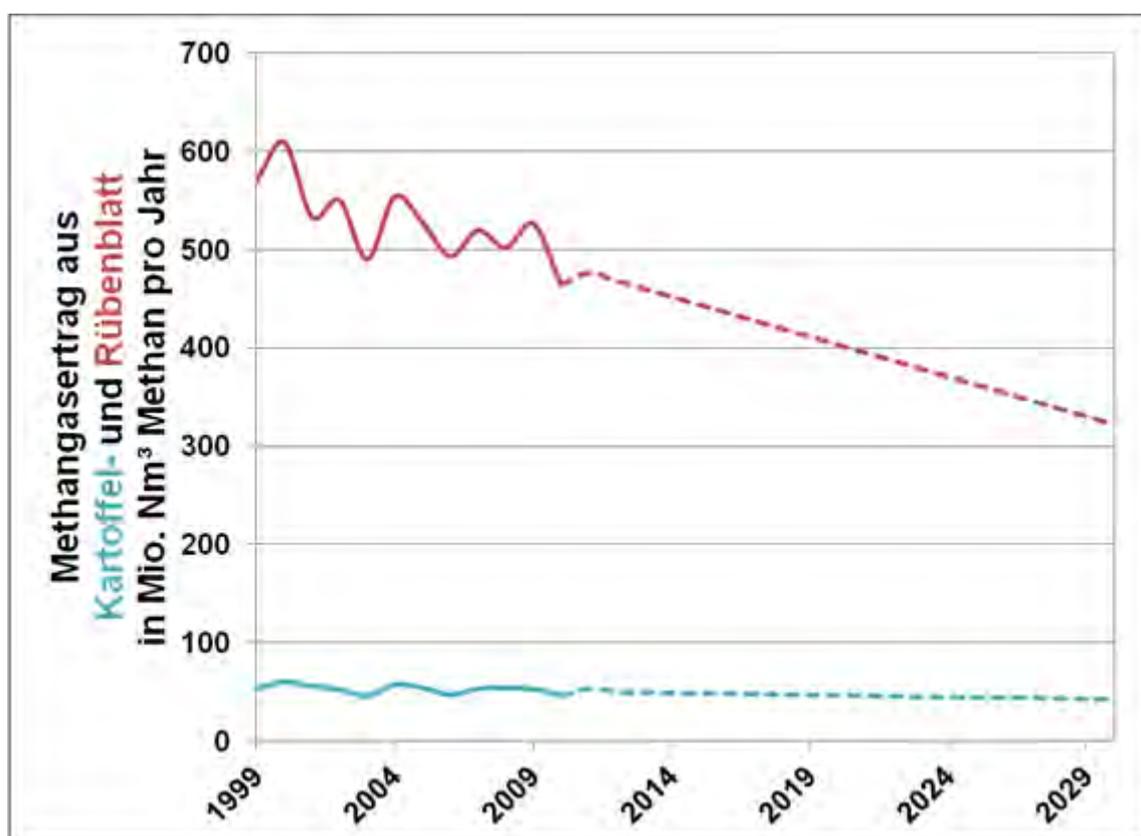


Abbildung 65: Entwicklungsprognose des Potenzials aus Kartoffel- und Rübenblatt bis 2030

Die Regionalisierung der deutschlandweiten Prognosen berücksichtigt die lokalen Fruchtbarkeitsklassen und Ackerflächenverteilung. Die technischen Potenziale von Kartoffel- und Rübenblatt ergeben sich unter denselben Annahmen wie bei der aktuellen Potenzialermittlung. Die prozentualen Abzüge aufgrund der Bergungsrate sind in Tabelle 38 aufgelistet. Erntereste sind generell wirtschaftlich nutzbar, sodass das technische dem wirtschaftlichen Potenzial entspricht. Die Gesamtübersicht zu den Potenzialen der Jahre 2015, 2020 und 2030 sind im Anhang in Abbildung 178 zu finden.

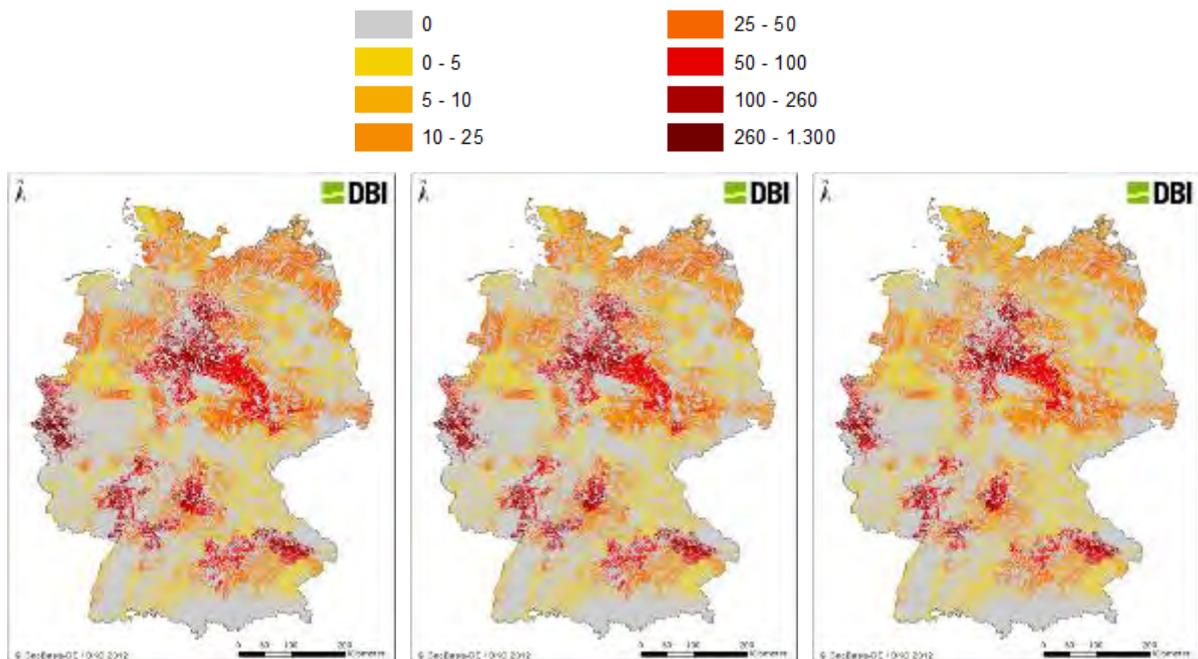


Abbildung 66: Theoretisches Biomethanpotenzial von Kartoffel- und Rübennblatt in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.2.6 Summenpotenzial Landwirtschaft

Aufgrund dessen, dass fast deutschlandweit Landwirtschaft betrieben wird, sind für das gesamte Bundesgebiet Biomethanpotenziale nachweisbar.

Die Abnahme vom theoretischem zum wirtschaftlichen Potenzial ist über die gesamte Bundesrepublik erkennbar. Hierbei fällt die Abstufung im Nordwesten geringer aus. Ursache dafür ist das wirtschaftliche Strohpotenzial, welches die Einstreumenge in Tierställen berücksichtigt. Die größten theoretischen Biomethanpotenziale finden sich nördlich des Harzes. Infolge einer günstigen Bodenqualität (Lössboden/ Schwarzerde) sind die dortigen Erntemengen überdurchschnittlich hoch, sodass für Rübenn-, Kartoffelblatt und Stroh große Biomethanpotenziale vorliegen. Im Alpenvorraum treten hohe theoretische und technische Potenziale auf, welche sich jedoch nicht im wirtschaftlichen widerspiegeln. Grund hierfür ist das Biomethanpotenzial aus Dauergrünland, dessen wirtschaftliche Verfügbarkeit in Abhängigkeit der Höhenlage abnimmt. Die kleinsten landwirtschaftlichen Potenziale sind in den Höhenlagen der Mittelgebirge (Schwarzwald, Harz, etc.), urbanen Gebieten wie Berlin, Hamburg und München sowie Heide- und Seenlandschaften wie z.B. in Mecklenburg-Vorpommern/ Brandenburg nachzuweisen. Die Ursache hierfür sind vor allem geringere Ernteerträge. Diese resultieren einerseits aus schlechteren klimatischen Bedingungen und andererseits aus der geringeren zur Verfügung stehenden Anbaufläche. Einschränkungen können durch bebaute Gebiete aber auch durch Wasserflächen und beispielsweise Naturschutzgebiete entstehen.

Das deutschlandweite, landwirtschaftliche, theoretische Biomethanpotenzial beträgt rund 15 Mrd. Nm^3 Biomethan pro Jahr bzw. 537 PJ pro Jahr, das technische

Potenzial 8 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr bzw. 295 PJ pro Jahr und das wirtschaftliche 5 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr bzw. 180 PJ pro Jahr.

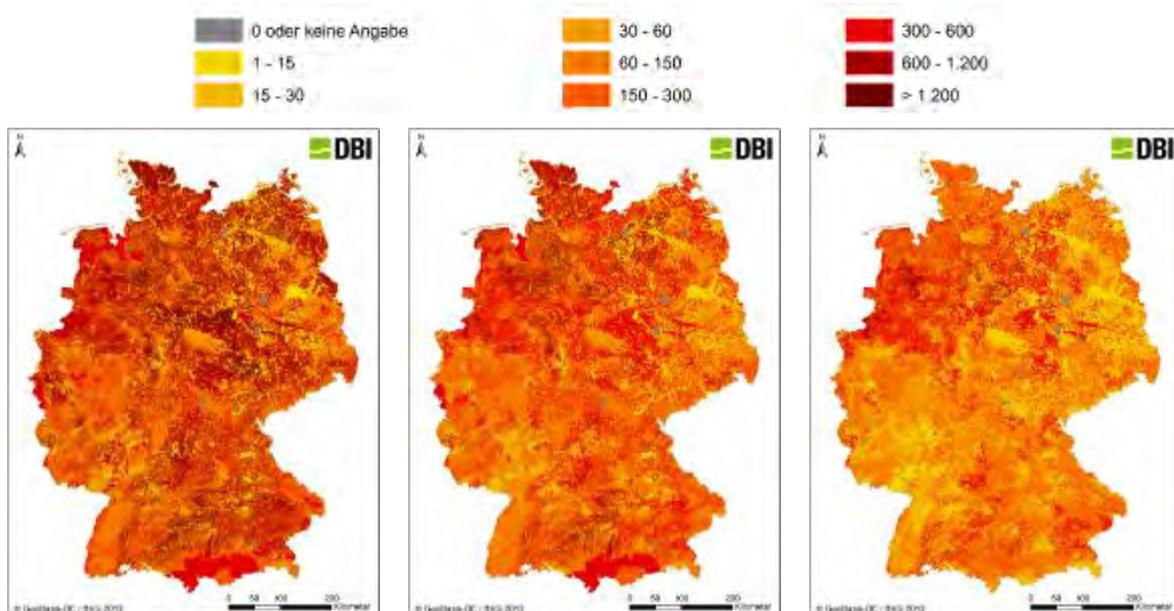


Abbildung 67: Theoretisches (links), technisches (Mitte) und wirtschaftliches (rechts) Summenpotenzial landwirtschaftlicher Einsatzstoffe in Nm³ CH₄/ha

6.2.7 Summenpotenzial Landwirtschaft Prognose

Abbildung 68 zeigt das wirtschaftliche Summenpotenzial aus allen betrachteten landwirtschaftlichen Einsatzstoffen für die Jahre 2015, 2020 und 2030. Das theoretische und technische Summenpotenzial ist im Anhang zu finden. Das Biomethanpotenzial der landwirtschaftlichen Substrate steigt in Summe kontinuierlich an. Bis zum Jahr 2030 steigt das wirtschaftliche Biomethanpotenzial um circa 79 % an. In Regionen mit dominierender Tierhaltung wie dem Nordwesten Deutschlands steigt das Potenzial weniger stark. Ursache sind insgesamt sinkende Tierzahlen. Besonders stark ist das Wachstum im mittleren Norden nachzuweisen. Dies ist auf eine hohe Zunahme des Maisanbaus in dieser Region zurückzuführen. Diese Zunahme ist unter Einhaltung der in den vorangegangenen Kapiteln genannten Nachhaltigkeitskriterien möglich. Bei der Prognose findet das Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ Anwendung. Tabelle 39 fasst die prognostizierten landwirtschaftlichen Summenpotenziale zusammen.

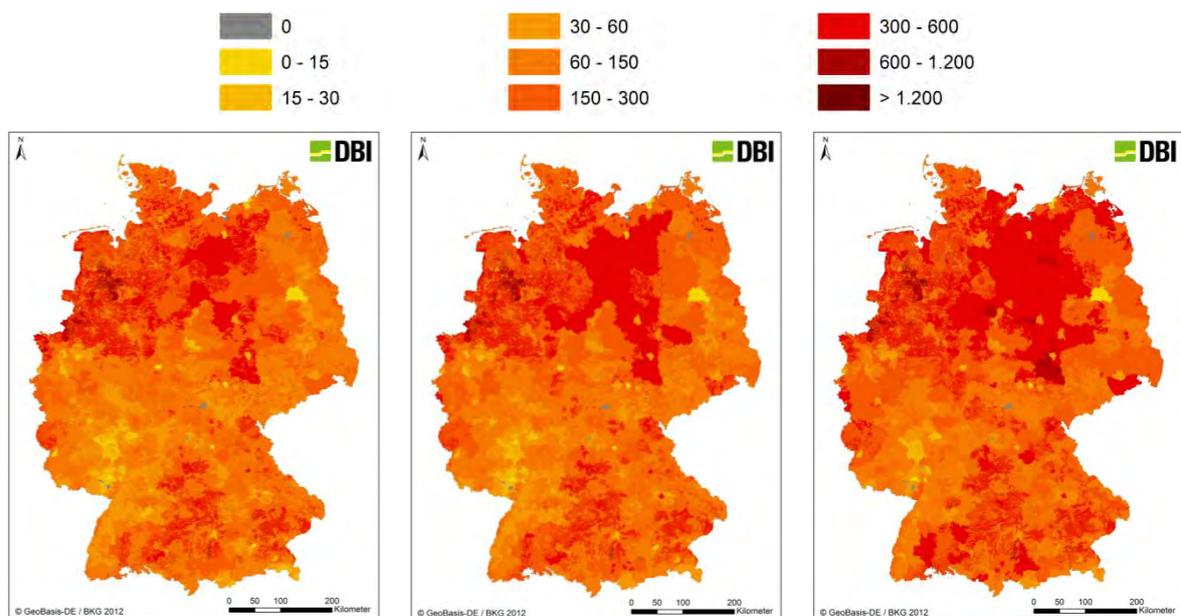


Abbildung 68: Wirtschaftliches Summenpotenzial landwirtschaftlicher Reststoffe in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts) im Szenario „Nachhaltige Entwicklung“

Tabelle 39: Zukünftige Biomethanpotenziale landwirtschaftlicher Substrate in Mrd. Nm^3 Biomethan pro Jahr für das Szenario „Nachhaltige Entwicklung“

Landwirtschaft	2015			2020			2030		
	theoret.	techn.	wirt.	theoret.	techn.	wirt.	theoret.	techn.	wirt.
	17,2	10,2	6,3	18,6	11,5	7,2	21,3	13,9	9,0

6.3 Kommunales Biogaspotenzial

Bei der Betrachtung des Biogaspotenzials aus kommunalen Reststoffen wird in Anlehnung an die jährlichen Abfallbilanzen des Statistischen Bundesamtes [STB 2011b] zwischen folgenden Substraten unterschieden (Abbildung 69):

- Abfälle aus der Biotonne
- Grünschnitt
- Restmüll
- Küchen-, Kantinen-, Marktabfälle
- Straßenbegleitgrün¹⁸
 - o Autobahnen
 - o Bundes-, Landes-, Kreisstraßen

¹⁸ Substrat nicht vom Statistischen Bundesamt erfasst, daher ist es in Abbildung 69 nicht dargestellt

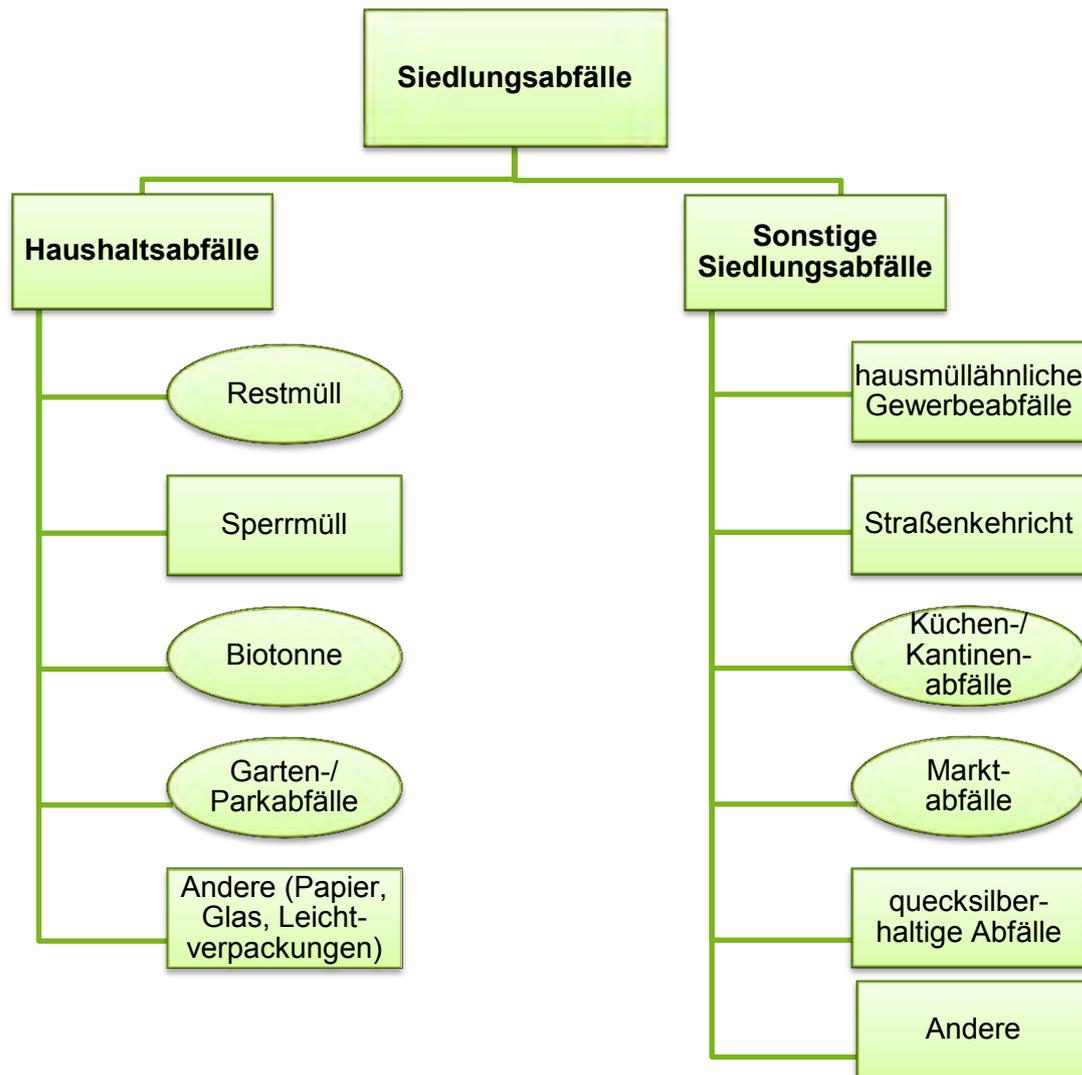


Abbildung 69: Einteilung von Siedlungsabfällen (nach [STB 2011b])

Biotonnenabfälle gehören neben Restmüll, Sperrmüll, Garten- und Parkabfällen sowie Papier, Pappe und Kartonagen zu den Haushaltsabfällen. Unter Grünschnitt werden Gartenabfälle und Strauchschnitt verstanden, die über separate Sammelsysteme erfasst und entsorgt werden. Hierzu zählt auch Material, welches aus öffentlichen Park- und Sportanlagen sowie Friedhöfen stammt; jedoch kein Landschaftspflegematerial. Die Betrachtung der organischen Anteile im Restmüll von Privathaushalten findet im Kapitel 6.3.3 statt. Sperrmüll findet keine Berücksichtigung. Alle Küchen- und Kantinenabfälle außer aus Haushaltsküchen, welche in die Biotonne bzw. den Restmüll gelangen, sowie verdorbene Speisen z.B. aus Supermärkten (Markt-abfälle) werden in Kapitel 6.3.4 betrachtet. Diese Substrate werden z.T. durch private Entsorgungsunternehmen entsorgt. Das Straßenbegleitgrün-Potenzial wird in Kapitel 6.3.5 betrachtet. Dabei wird zwischen Straßenbegleitgrün der Autobahn sowie der Bundes-, Landes- und Kreisstraßen unterschieden.

6.3.1 Biotonne

In den Abfallbilanzen des Statistischen Bundesamtes wird für das Jahr 2009 ein Gesamtaufkommen von 4,3 Mio. t an Abfällen in Biotonnen für Deutschland aufgelistet [STB 2011a]. Zu den Abfällen in Biotonnen zählen Küchenabfälle und anteilige Gartenabfälle aus Privathaushalten, die durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsunternehmen (öRE) eingesammelt werden. Die Entsorgung bzw. die Bereitstellung von Biotonnen ist jedoch nicht flächendeckend in Deutschland gegeben. Ein besonders geringes Angebot besteht in den neuen Bundesländern. In ländlichen Regionen ist zudem ein hoher Anteil an Eigenkompostierung zu verzeichnen. In Deutschland sind nur ca. 36,6 Mio. Einwohner an die Biotonne angeschlossen [KERN 2011]. Dies entspricht etwa 45 % der Gesamtbevölkerung.

Grundlage für die Bestimmung des Biogaspotenzials der Biotonne in dieser Studie bilden Daten der Statistischen Landesämter für das Jahr 2009, welche landkreis-spezifisch die anfallenden Mengen an Bioabfall wiedergeben. Tabelle 41 zeigt das Aufkommen an Bioabfall aufsummiert nach Bundesländern. Unter Berücksichtigung der regionalen Einwohnerverteilung (Tabelle 40) und einem Methangasertrag von $74 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [FNR 2010] beläuft sich das *theoretische Potenzial* für Deutschland auf 319 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 11,42 PJ pro Jahr. Bei einer Verfügbarkeit von 90 % sowie Lager- und Transportverlusten in Höhe von 0,6 % ergibt sich ein *technisches Potenzial* von 285 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 10,2 PJ pro Jahr. Da keine weiteren Bereitstellungskosten für das Material anfallen [IE 2004], wird das technische gleich dem *wirtschaftlichen Potenzial* gesetzt.

Tabelle 40: Bioabfallaufkommen (2007) differenziert nach Siedlungsstruktur [KERN 2011]

Kategorie	Einwohnerdichte in EW/km ²	spezifisches Aufkommen an Abfällen aus Biotonnen in kg/(EW*a)
ländlich	bis 150	38,1
ländlich dicht	150 bis 750	58,4
städtisch	750 bis 1750	53,6
großstädtisch	mehr als 1750	24,0

Tabelle 41: Abfallmenge 2009 in Biotonnen nach Bundesländern [SLAK 2009], [IZES 2011]

Bundesland	Abfall der Biotonne in t/a	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a		
		theor.	techn.	wirtsch.
Baden-Württemberg	449.000	33.182.000	29.684.000	29.684.000
Bayern	637.000	47.155.000	42.185.000	42.185.000
Berlin	59.000	4.339.000	3.882.000	3.882.000
Brandenburg	10.000	727.000	650.000	650.000
Bremen	23.000	1.711.000	1.531.000	1.531.000
Hamburg	27.000	1.975.000	1.767.000	1.767.000
Hessen	505.000	37.378.000	33.438.000	33.438.000
Mecklenburg-Vorpommern	31.000	2.293.000	2.052.000	2.052.000
Niedersachsen	482.000	35.649.000	31.892.000	31.892.000
Nordrhein-Westfalen	1.210.000	89.506.000	80.072.000	80.072.000
Rheinland-Pfalz	302.000	22.350.000	19.995.000	19.995.000
Saarland	54.000	3.971.000	3.553.000	3.553.000
Sachsen	125.000	9.224.000	8.252.000	8.252.000
Sachsen-Anhalt	121.000	8.956.000	8.012.000	8.012.000
Schleswig-Holstein	208.000	15.374.000	13.754.000	13.754.000
Thüringen	66.000	4.860.000	4.348.000	4.348.000
Deutschland, gesamt	4.307.000	318.652.000	285.066.000	285.066.000

Abbildung 70 stellt das Biogaspotenzial aus Abfällen der Biotonne grafisch dar. Das auf Orte bezogene Potenzial ist in Nordrhein-Westfalen besonders hoch. Der Grund hierfür liegt in der hohen Bevölkerungsdichte in Nordrhein-Westfalen, speziell im Ruhrgebiet.

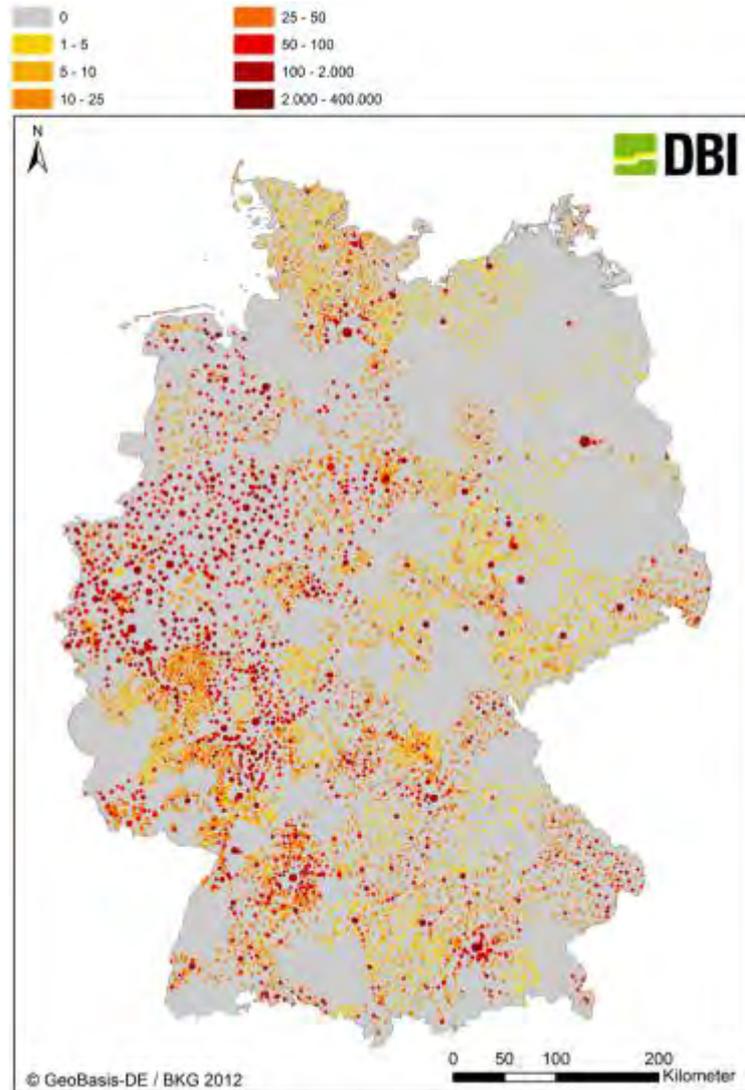


Abbildung 70: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Abfällen der Biotonne pro Ort in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$

Im Vergleich zu anderen Studien, welche sich mit dem Potenzial von Biogas aus Abfällen der Biotonne beschäftigen, liegen die ermittelten Werte leicht über den Vergleichswerten (Abbildung 71). Ursache hierfür kann in der Aktualität der Abfallmengendaten liegen. Da die Bioabfallmenge in den letzten Jahren tendenziell zunimmt, können so ältere Daten zu geringeren Potenzialen führen.

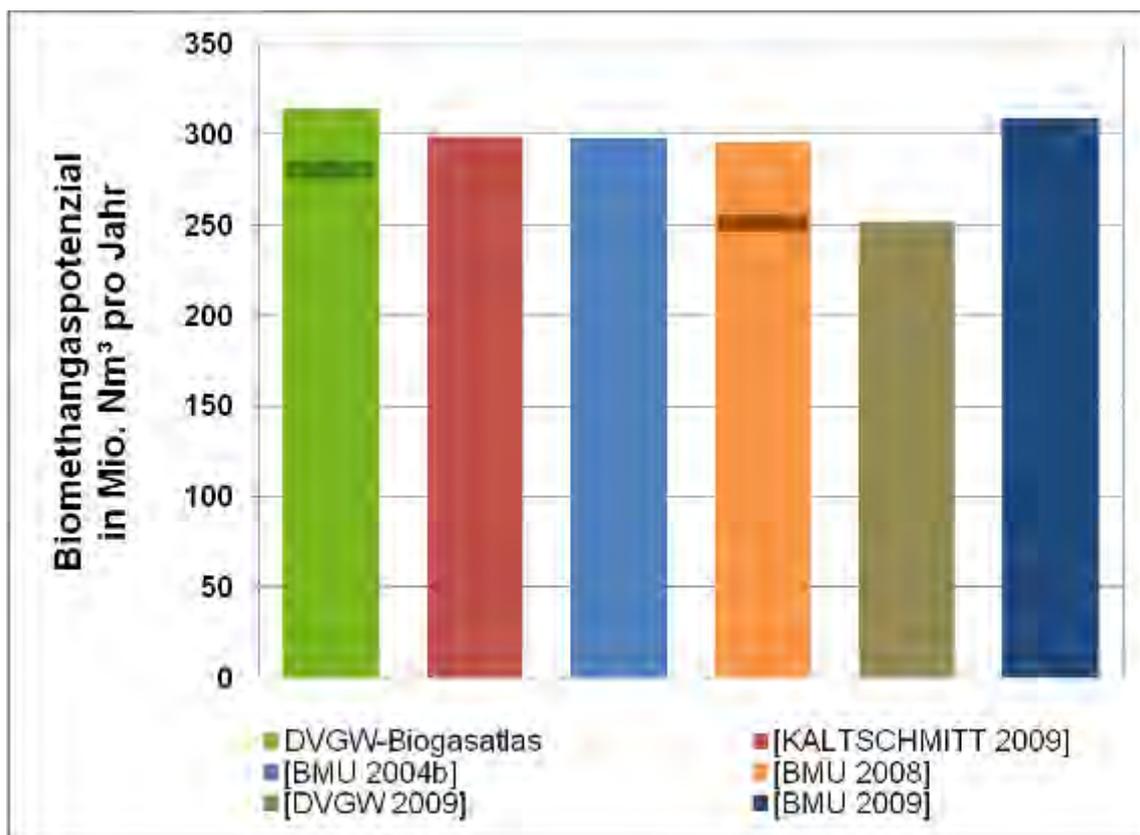


Abbildung 71: Biomethangaspotenzial aus Abfällen der Biotonne im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Biotonne

Mit der Biotonne werden organische Siedlungsabfälle entsorgt. Diese Abfallmenge entwickelt sich unabhängig von der Bevölkerungszahl. Vielmehr hängt das Aufkommen mit der Anschlussrate der Einwohner Deutschlands an die Biotonne zusammen. Die Biotonne ist noch nicht ganzheitlich in Deutschland vorhanden. Nur ca. die Hälfte der Einwohner ist derzeit an die Biotonne angeschlossen. Da in dicht besiedelten, großstädtischen Gebieten oft der Platz für eine separate Mülltonne zur Biomüllsammlung fehlt, ist das Potenzial dort besonders niedrig und ausbaufähig. Auch sehr dünn besiedelte, ländliche Gebiete weisen aufgrund der Eigenkompostierung nur wenig erfassbaren Biomüll auf [KERN 2011].

Die Menge aus Abfällen der Biotonne zeigt über die Jahre gesehen steigende Tendenzen. Da immer mehr Gemeinden/Landkreise die Biotonne einführen, ist demnach stetig mehr Abfall aus der Biotonne erfassbar. Die Entwicklung der mit der Biotonne erfassten Mengen an Abfall ist in Abbildung 72 zu sehen.

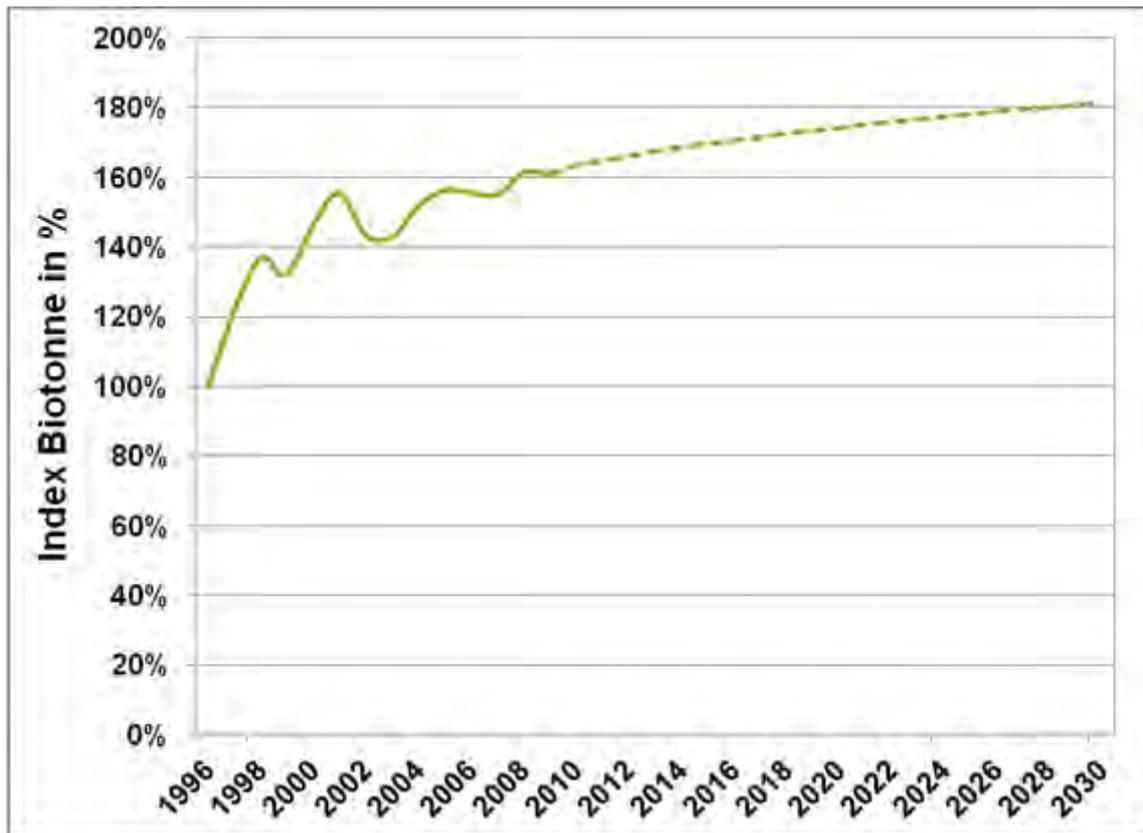


Abbildung 72: Entwicklung und Prognose der Biotonne von 1996 bis 2030 [SLAK 2009, eigene Berechnungen] (Basisjahr: 1996=100 %)

Die Zukunftsprognosen für die Biotonne zeigen einen weiterhin ansteigenden Trend. Somit sind 2015 ca. 4,5 Mio. t, 2020 ca. 4,7 Mio. t und 2030 ca. 4,9 Mio. t Bioabfälle verfügbar. Die prognostizierten Tonnagen für 2015 entsprechen einem theoretischen Potenzial von 336 Mio. Nm³ Biomethan und einem technischen Potenzial von 301 Mio. Nm³ Biomethan. 2020 wird das Potenzial einen theoretischen Wert von 345 Mio. Nm³ Biomethan bzw. ein technisches Potenzial von 309 Mio. Nm³ Biomethan erreichen. Im Jahr 2030 wird das Potenzial nochmals ansteigen. 359 Mio. Nm³ Biomethan werden theoretisch im Jahr 2030 aus Abfällen der Biotonne zur Verfügung stehen. Das technische Potenzial für dieses Jahr beläuft sich auf 321 Mio. Nm³ Biomethan. Folgende Abbildung zeigt die regionale Entwicklung der theoretischen Potenzials der Biotonne von Deutschland von 2015 bis 2030. Das technische (und wirtschaftliche) Potenzial ist im Anhang in Abbildung 180 zu finden.

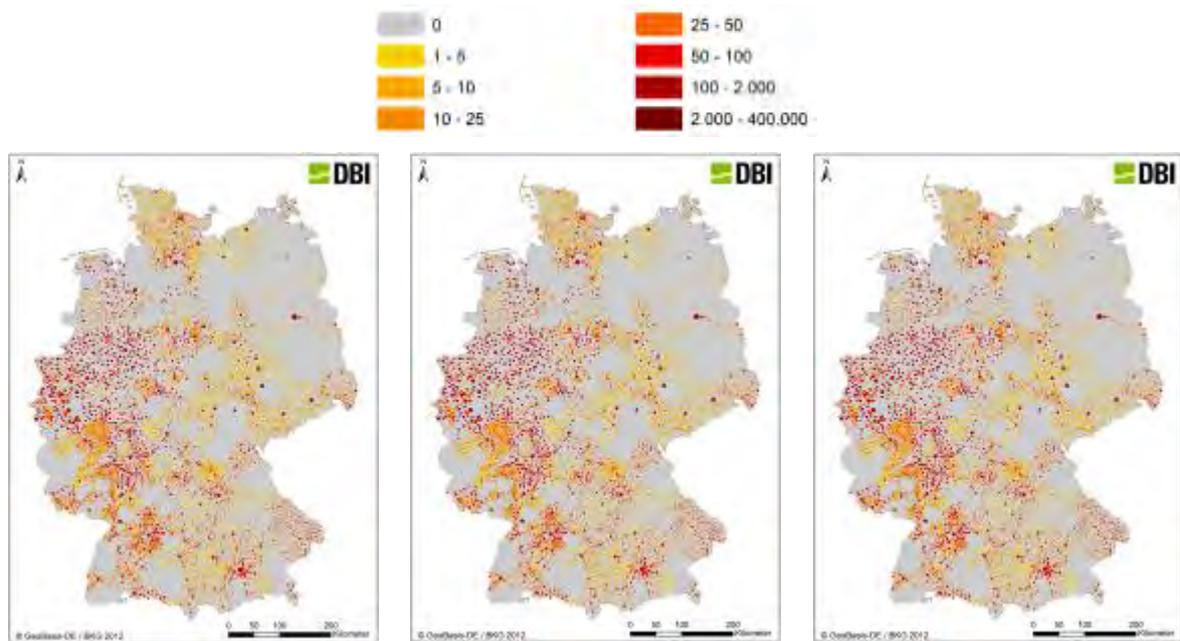


Abbildung 73: Theoretisches Biomethanpotenzial von Biotonne in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.3.2 Grünschnitt

Für das Jahr 2009 stellt das Statistische Bundesamt ein Aufkommen an Grünschnitt von 4,693 Mio. t für Deutschland fest [STB 2011a].

Tabelle 42 zeigt die Grünschnittmengen nach Bundesländern für das Jahr 2009. Für verschiedene Einwohnerdichten sind in [KERN 2011] unterschiedliche einwohnerspezifische Grünabfallmengen pro Jahr angegeben (

Tabelle 43). Aus dieser Kategorisierung ergeben sich für die verschiedenen Einwohnerdichten unterschiedliche Mengen an Grünschnitt. Jedem Ort kann so, entsprechend seiner Einwohnerdichte und Einwohnerzahl, ein Wert für den anfallenden Grünschnitt zugeteilt werden. Anschließend kann über den Methangasertrag von Grünschnitt ($43 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [FNR 2010]) der Biomethangasertrag pro Ort berechnet werden (Abbildung 74). Die deutschlandweite Aufsummierung ergibt demzufolge etwa ein *theoretisches Potenzial* aus Grünschnitt von 202 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 7,2 PJ pro Jahr. Die Beachtung von 0,6 % Transport- und Lagerverlusten und der Verfügbarkeit von 90 % liefert das *technische Potenzial*. Dieses beträgt 180 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 6,4 PJ pro Jahr. Das *wirtschaftliche Potenzial* wird diesem aufgrund keiner zusätzlichen Beschaffungskosten gleichgesetzt [IE 2004].

Tabelle 42: Grünschnittmenge 2009 nach Bundesländern [SLAK 2009], [IZES 2011]

Bundesland	Grün-schnitt in t/a	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a		
		theor.	techn.	wirtsch.
Baden-Württemberg	903.000	39.189.000	35.094.000	35.094.000
Bayern	1.135.000	49.230.000	44.085.000	44.085.000
Berlin	68.000	2.940.000	2.633.000	2.633.000
Brandenburg	10.000	426.000	382.000	382.000
Bremen	36.000	1.575.000	1.411.000	1.411.000
Hamburg	9.000	408.000	365.000	365.000
Hessen	284.000	12.307.000	11.020.000	11.020.000
Mecklenburg-Vorpommern	56.000	2.419.000	2.167.000	2.167.000
Niedersachsen	709.000	30.766.000	27.551.000	27.551.000
Nordrhein-Westfalen	728.000	31.588.000	28.287.000	28.287.000
Rheinland-Pfalz	288.000	12.509.000	11.202.000	11.202.000
Saarland	87.000	3.774.000	3.380.000	3.380.000
Sachsen	98.000	4.262.000	3.817.000	3.817.000
Sachsen-Anhalt	119.000	5.180.000	4.639.000	4.639.000
Schleswig-Holstein	61.000	2.627.000	2.352.000	2.352.000
Thüringen	101.000	4.378.000	3.920.000	3.920.000
Deutschland, gesamt	<i>4.693.000</i>	<i>203.579.000</i>	<i>182.305.000</i>	<i>182.305.000</i>

Tabelle 43: Grünabfallauskommen (2007) differenziert nach Siedlungsstruktur [KERN 2011]

Kategorie	Einwohnerdichte in EW/km ²	spezifisches Grünschnittauf- kommen in kg/(EW*a)
ländlich	bis 150	59,2
ländlich dicht	150 bis 750	60,2
städtisch	750 bis 1750	51,6
großstädtisch	mehr als 1750	35,7

Abbildung 74 zeigt das errechnete Biogaspotenzial grafisch für Deutschland. Der Süddeutsche Raum, Nordrhein-Westfalen und Teile Niedersachsens weisen ein hohes ortsbezogenes Potenzial auf.

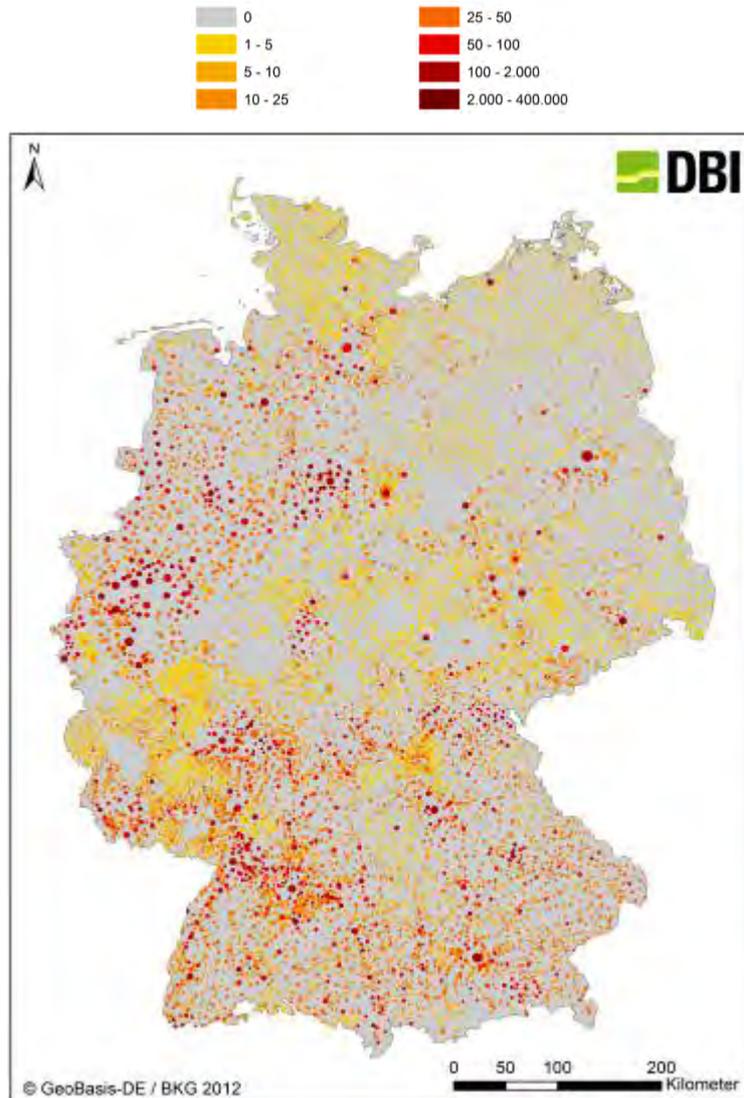


Abbildung 74: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Grünschnitt pro Ort in Nm³ CH₄/ha

Der Vergleich mit anderen Studien zeigt, dass die berechneten Potenziale bis zu etwa 12 % über vergleichbaren Werten liegen. Die in Abbildung 75 zu sehende dicke Linie stellt das berechnete technische Potenzial dar. Sowohl [KALTSCHMITT 2009] als auch [BMU 2004b] liegen Statistikdaten aus dem Jahr 2000 zu Grunde. Darin findet sich eine Ursache zur Abweichung der berechneten Daten wieder, da zwischen 2002 und 2009 ein Anstieg der erfassten Grünschnittmengen um 9 % zu verzeichnen ist [STB 2011b]. Des Weiteren hat in den Vergleichsstudien das Landschaftspflegematerial eine größere Bedeutung, wobei eine klare Trennung zum Begriff Grünschnitt nicht immer gegeben ist.

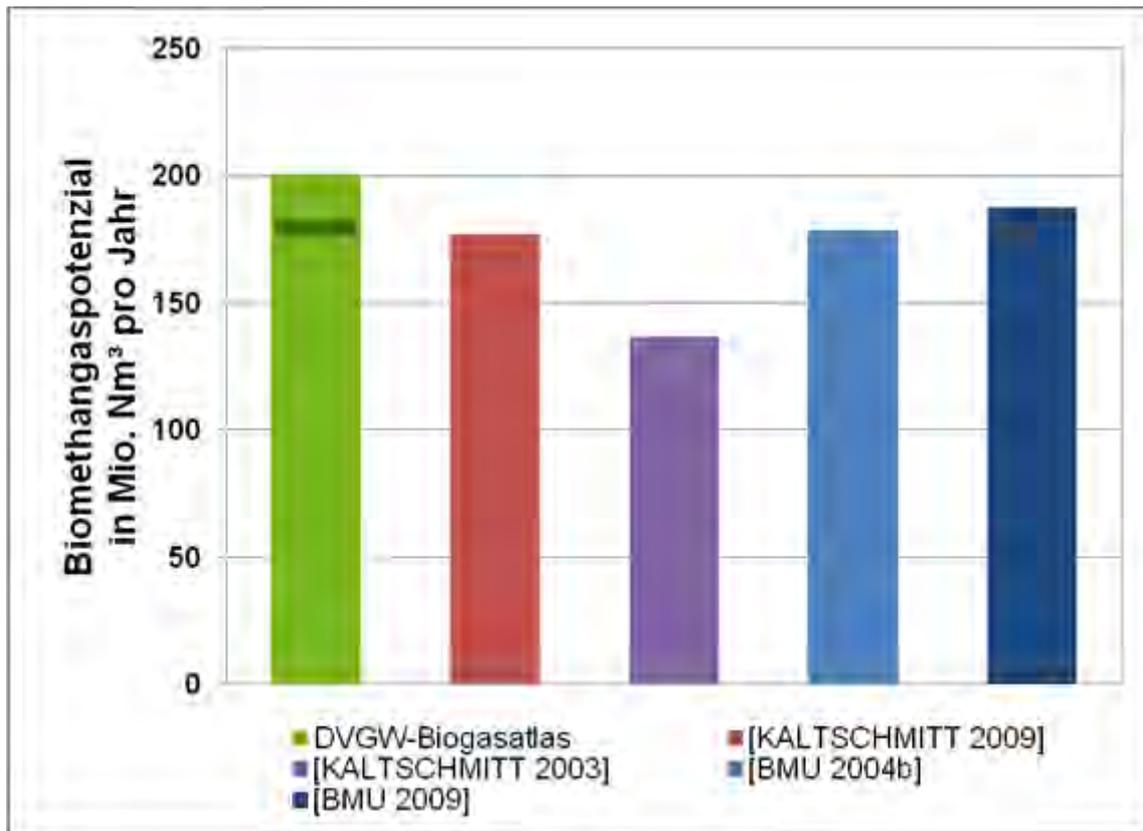


Abbildung 75: Biomethangaspotenzial aus Grünschnitt im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Grünschnitt

Im Gegensatz zur Biotonne ist der Grünschnittabfall flächendeckend in Deutschland erfassbar. Von nahezu allen öffentlich rechtlichen Entsorgungsträgern (öRE) werden separate Abfahren von Grünschnitt oder Grüngutsammelstellen angeboten, sodass eine Entsorgung einfach zu handhaben ist [KERN 2011]. Demzufolge zeigt auch der erfassbare Anfall an Grünschnitt im betrachteten Zeitfenster keine größeren Abweichungen, jedoch leicht steigende Tendenzen. Bis 2002 ist eine Steigerung des anfallenden Grünschnitts zu verzeichnen. Die Mengenzunahme bzw. Mengenabnahme des erfassbaren Grünschnitts ist in folgender Abbildung ersichtlich.

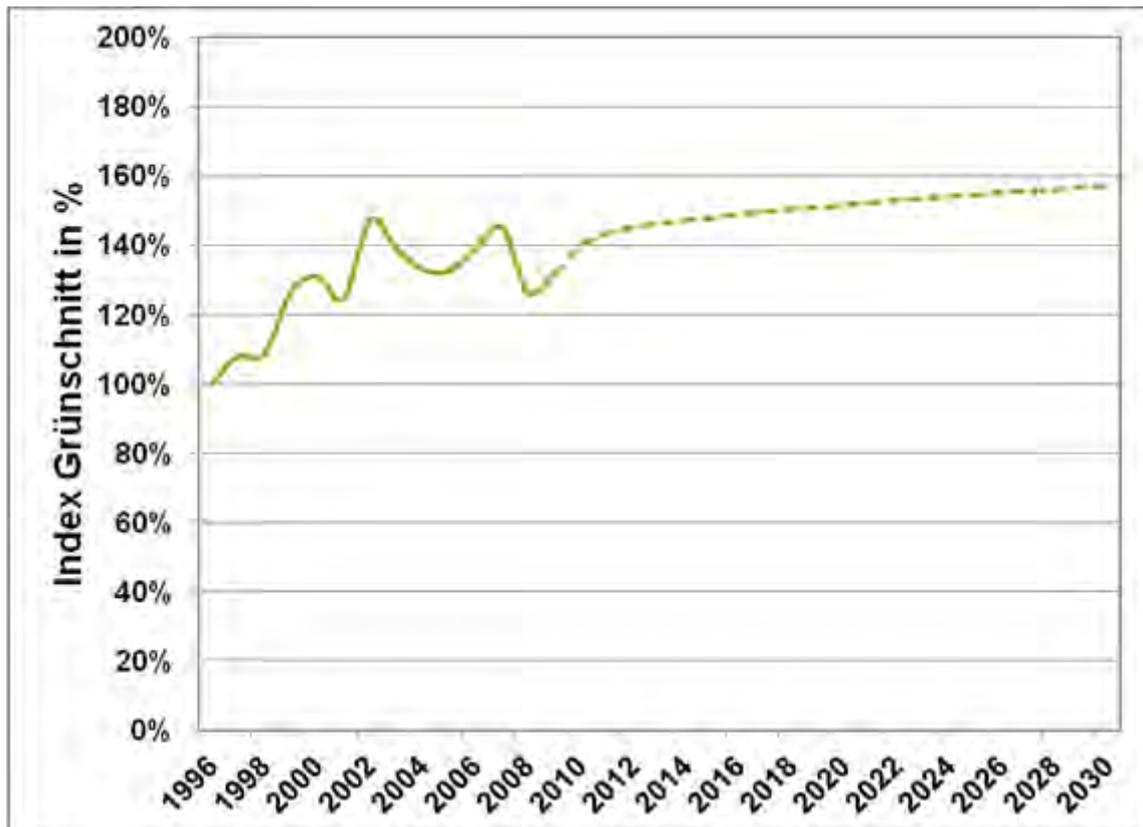


Abbildung 76: Entwicklung und Prognose des Grünschnitts von 1996 bis 2030 [SLAK 2009, eigene Berechnungen] (Basisjahr: 1996=100 %)

Auch zukünftig kann von einer guten Verfügbarkeit von Grünschnitt ausgegangen werden. Tendenziell wird der anfallende Grünschnitt sich in dem Bereich der letzten Jahre bewegen und weiter leicht ansteigen (2015: 5,2 Mio. t, 2020: 5,3 Mio. t, 2030: 5,5 Mio. t). Die entstehenden Biomethangasmengen werden demnach zukünftig ebenfalls größer. Im Jahr 2015 werden 222 Mio. Nm³ Biomethan nutzbar sein. 2020 steigt das Potenzial nochmals an und erreicht 227 Mio. Nm³ Biome- than. 2030 werden 235 Mio. Nm³ Biomethan aus Grünschnitt theoretisch möglich. Das theoretische Potenzial ist regionalisiert in Abbildung 77 dargestellt.

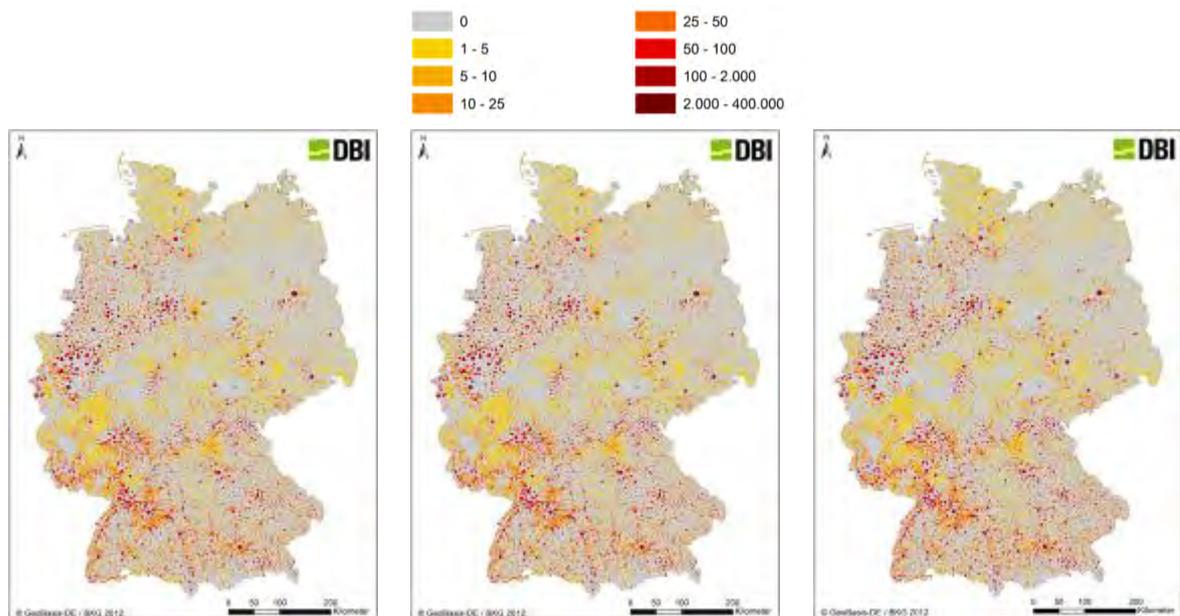


Abbildung 77: Theoretisches Biomethanpotenzial von Grünschnitt in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.3.3 Restmüll

Restmüll besteht aus allen nicht anderweitig gesammelten Bestandteilen der Haushaltsabfälle. Aus diesem Grund ist seine Zusammensetzung sowohl regional als auch jahreszeitlich sehr unterschiedlich. Die jährliche gesamtdeutsche Restmüllmenge ist zwischen 2000 und 2009 um ca. 20 % gesunken und betrug nach den Abfallbilanzen der Länder 2009 etwa 18,8 Mio. t. Ursache für die Verringerung ist eine flächendeckende Diversifizierung in der Müllentsorgung und ein damit gesteigertes Bewusstsein für Mülltrennung in der Bevölkerung. Nichtsdestotrotz findet sich im Restmüll über 40 kg organisches Material pro Einwohner und Jahr. Dieser Wert erhöht sich um über das Doppelte bei einer fehlenden Biotonne [KERN 2011].

Zur Berechnung des Biogaspotenzials aus Restmüll wird zwischen vier Kategorien (kreisfreie Stadt mit Biotonne, kreisfreie Stadt ohne Biotonne, Landkreis mit Biotonne, Landkreis ohne Biotonne) unterschieden, welche die verschiedenen organischen Anteile im Restmüll repräsentieren [KERN 2011]. Der theoretisch nutzbare Anteil ergibt sich aus dem enthaltenen organischen Material im Restmüll. Bei Beachtung, dass nur der Organikanteil abschöpfbar ist, lässt sich der technisch nutzbare Anteil berechnen. Tabelle 44 fasst die verschiedenen Anteile in den vier Kategorien zusammen.

Tabelle 44: Organischer Anteil im Restmüll für verschiedene Kategorien (nach [KERN 2011])

Kategorie	Im Restmüll enthaltenes Organikpotenzial in Ma.-% [KERN 2011]	Technisch nutzbarer Anteil in % [KERN 2011]	Technisch nutzbarer Anteil an Organik im Restmüll in Ma.-%
Kreisfreie Stadt mit Biotonne	30	20,69	6,21
Kreisfreie Stadt ohne Biotonne	42	45,00	18,90
Landkreis mit Biotonne	31	19,51	6,05
Landkreis ohne Biotonne	43	44,93	19,32

Anhand der Einwohnerzahlen und Einwohnerverteilung sowie den Daten zum Restmüllaufkommen in den Landkreisen, die den Abfallbilanzen der Bundesländer [RMBL 2009] entnommen sind, erfolgt die Ermittlung der anfallenden Restmüllmengen spezifisch pro Einwohner bzw. pro Ort (ortsgenaue Datenermittlung).

Bei einem Methangasertrag von 74 Nm³ CH₄/t FM [FNR 2010] ergibt sich ein *theoretisches Biogaspotenzial* von 451 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 16,1 PJ pro Jahr. Das *technische Biogaspotenzial* beträgt unter Berücksichtigung der technisch abschöpfbaren Organik und der Lager- und Transportverluste etwa 108 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 3,9 PJ pro Jahr. Aus *wirtschaftlicher* Perspektive sind beim Restmüll keine weiteren Abzüge notwendig [IE 2004].

Wie aus Abbildung 78 hervorgeht, weisen die größeren Städte sowie die dichtbesiedelten Regionen die höchsten Potenziale auf.

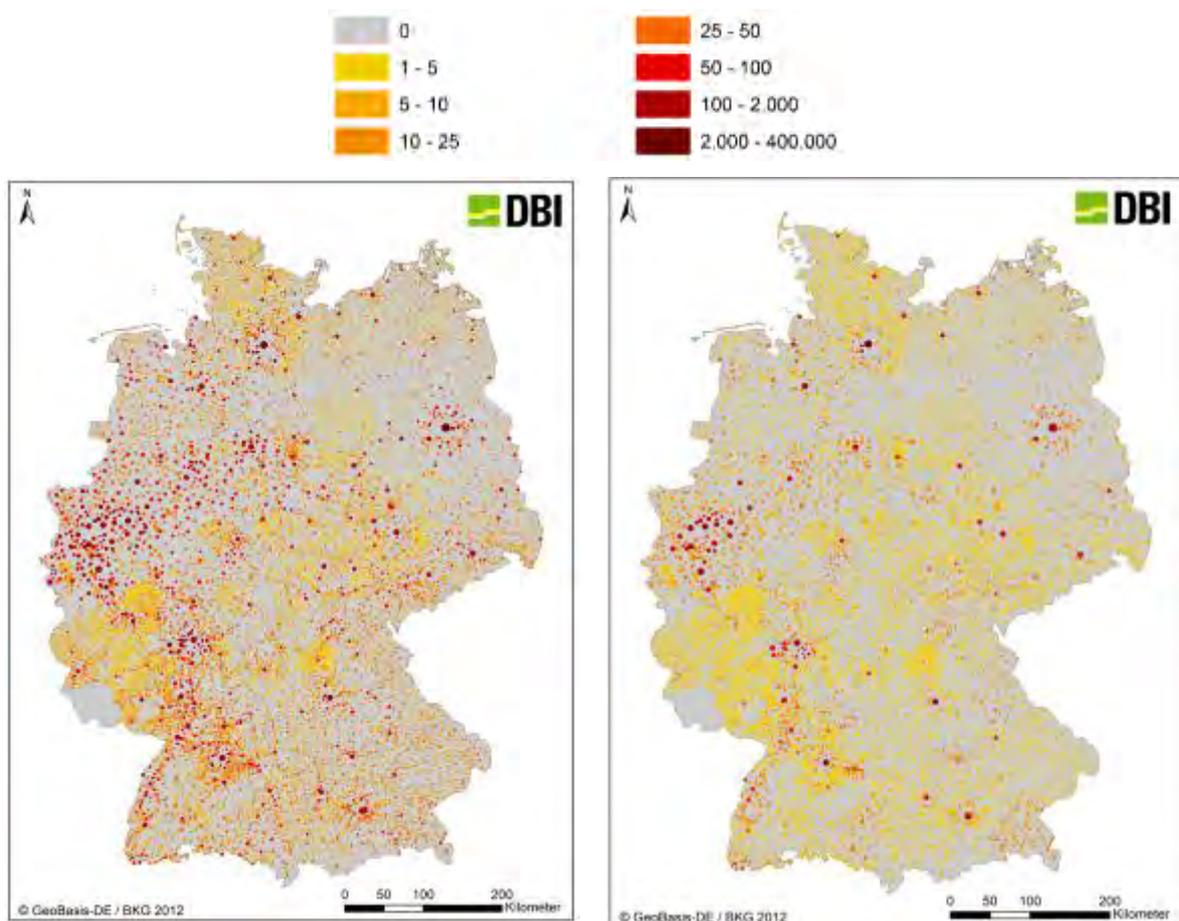


Abbildung 78: Theoretisches (links) und technisches (rechts) Biomethanpotenzial aus Restmüll pro Ort in Nm³ CH₄/ha

Ein Vergleich mit anderen Studien zeigt, dass Abweichung sowohl beim technischen als auch beim theoretischen Potenzial auftreten. Die vorliegende Studie weist dabei höhere Werte für das theoretische und niedrigere Werte für das technische Potenzial auf (vgl.

Abbildung 79). Die Ursache hierfür liegt darin begründet, dass in dieser Studie der abschöpfbare Organikanteil niedriger als bei anderen Studien angesetzt wird.

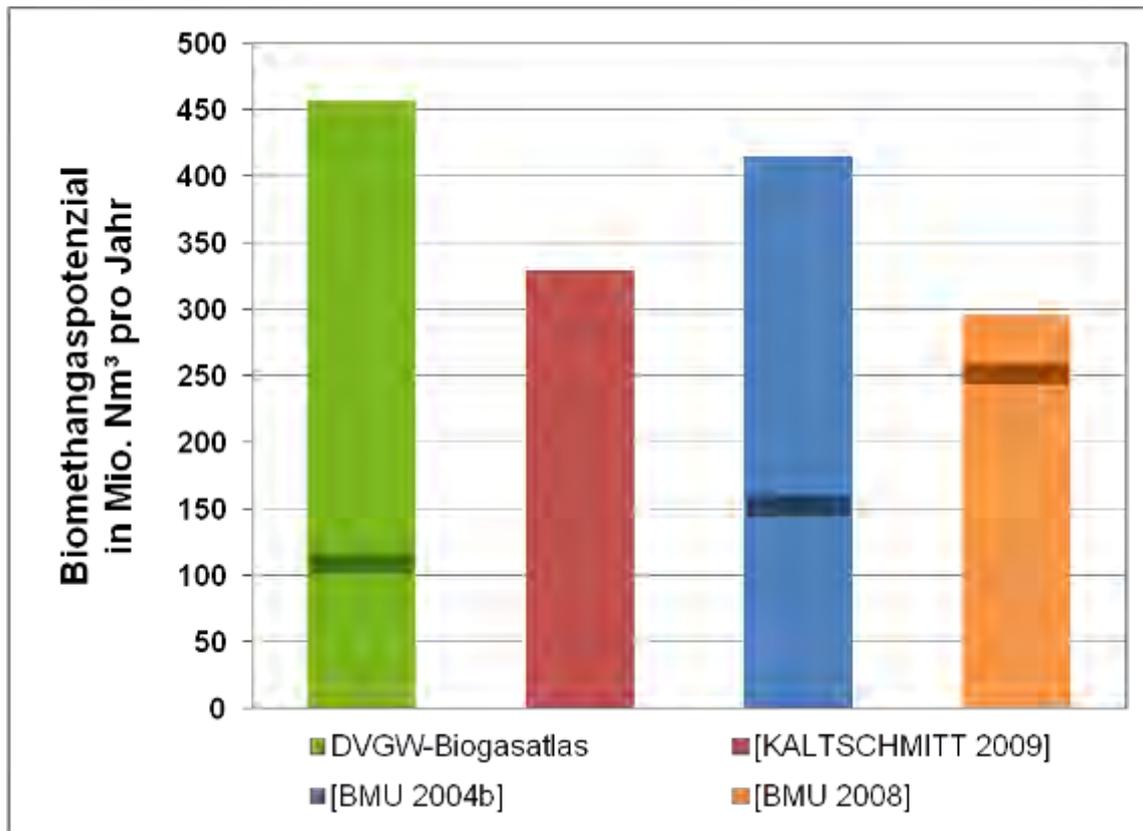


Abbildung 79: Biomethangaspotenzial aus Restmüll im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Restmüll

In Regionen ohne Biotonne werden neben Restmüll auch Bio-Abfälle in der „grauen Tonne“ entsorgt. Der schrittweise immer weiter reichende Anschluss an die Biotonne in Deutschland hat somit ein Absinken des Potenzials aus dem Restmüll zur Konsequenz. Im betrachteten Zeitfenster ist dieser Rückgang der Restmüllmenge zu verzeichnen. Etwa 27 % weniger Restmüll sind im Jahr 2009 im Vergleich zu 1996 bundesweit vorhanden.

Auch der Trend zeigt bis 2030 ein um 60 % abfallendes Potenzial. Neben der absinkenden Menge an Restmüll wird auch der organische Anteil im Restmüll immer geringer, da Bioabfälle zukünftig immer häufiger mit der Biotonne entsorgt werden. Somit sind, wie in Abbildung 80 zu sehen, 2015 nur noch 13,5 Mio. t, 2020 12,9 Mio. t und im Jahr 2030 12,2 Mio. t Restmüll in Deutschland erfassbar. Die theoretischen Biomethangaserträge sinken von 427 Mio. Nm³ Biomethan in 2015 bis 389 Mio. Nm³ Biomethan im Jahr 2030.

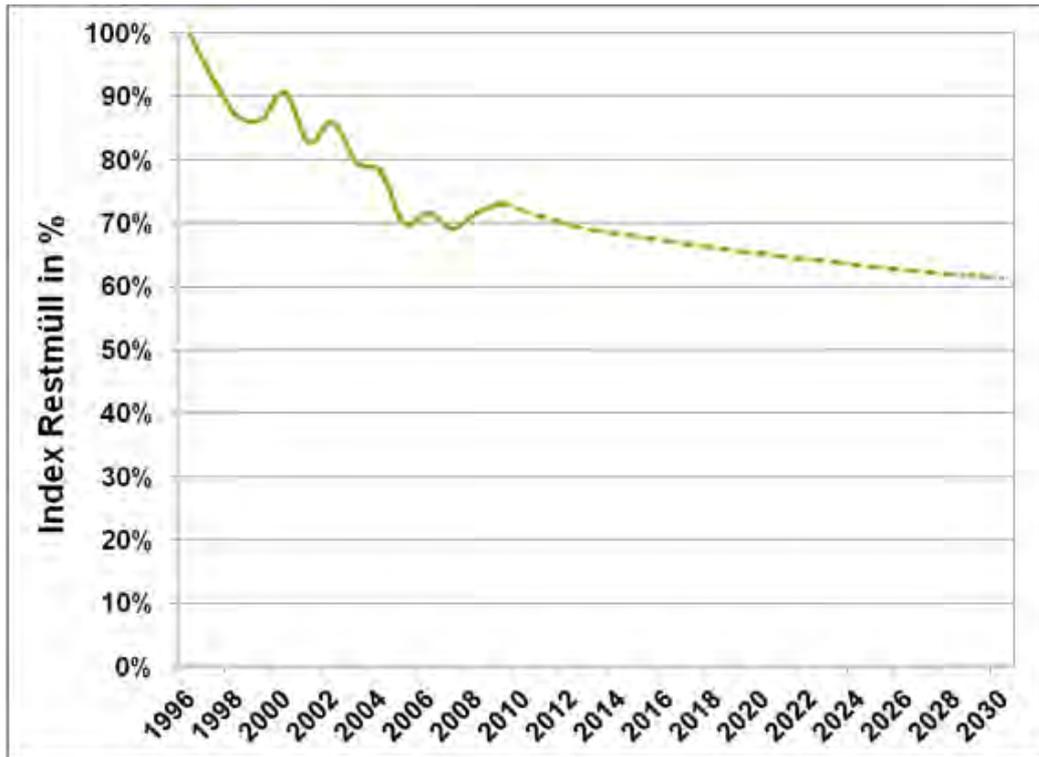


Abbildung 80: Entwicklung und Prognose des Restmülls von 1996 bis 2030 [STB 2011e, eigene Berechnung] (Basisjahr: 1996=100 %)

Die regionale Entwicklung des theoretischen Potenzials aus Restmüll ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Die Gesamtübersicht ist im Anhang in Abbildung 182 zu finden.

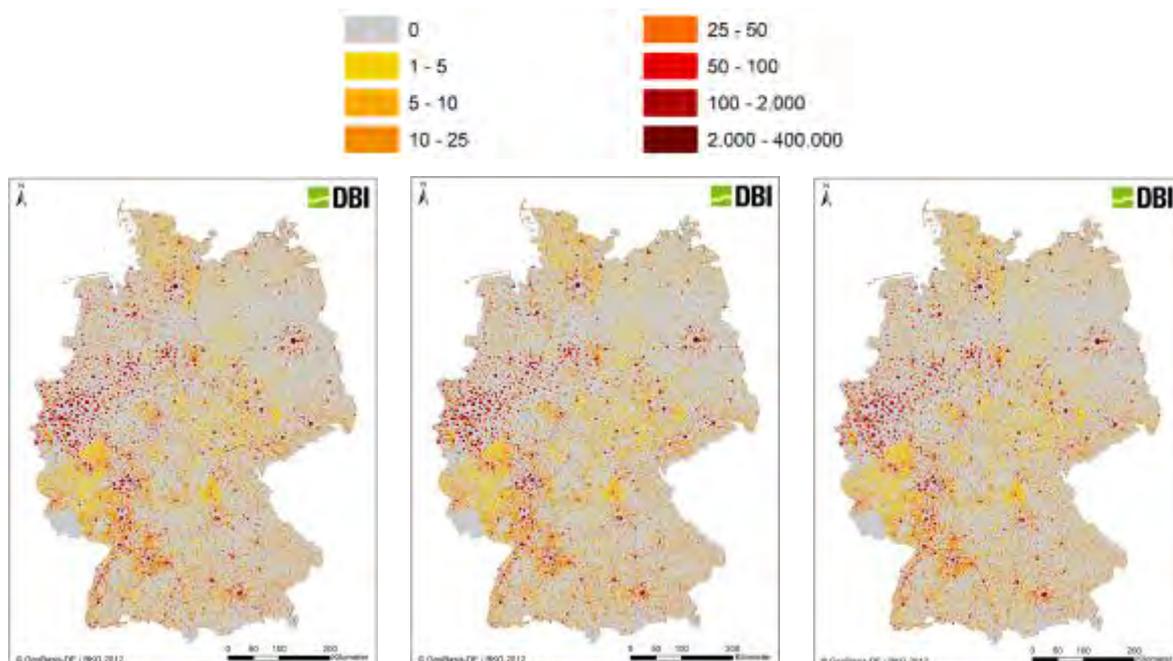


Abbildung 81: Theoretisches Biomethanpotenzial von Restmüll für in Nm³ CH₄/ha 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.3.4 Küchen-, Kantinen- und Marktabfälle

Oftmals werden Speisereste aus Großküchen und Kantinen sowie nicht verkaufte Lebensmittel aus Supermärkten in den verschiedensten Potenzialstudien gemeinsam betrachtet. Dadurch sinken sowohl die Vergleichbarkeit zu anderen Studien als auch detaillierte Kenntnisse. Ursache für die grobe Betrachtung in vielen bisherigen Studien liegt in den nicht oder unzureichend vorhandenen statistischen Daten. Zur detailschärferen Betrachtung der jeweiligen Substrate werden im Folgenden Speisereste aus Großküchen und Kantinen sowie Supermarktreste (Gliederung nach Abbildung 69) getrennt voneinander untersucht.

6.3.4.1 Speisereste aus Großküchen und Kantinen

Speisereste aus Großküchen und Kantinen sind von den Speiseresten aus Haushalten zu unterscheiden. Letztere werden i.d.R. durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsunternehmen gesammelt, während bei Speisereste aus Großküchen und Kantinen i.d.R. autorisierte Privatunternehmen zum Einsatz kommen.

Die Speisereste können aus folgenden Einrichtungen stammen [ISWA 2012]:

- Gaststätten
- Herbergen
- Betriebskantinen
- Krankenhäuser
- Kinderbetreuungseinrichtungen
- Schulen
- Hochschulen
- Alten- und Pflegeheime
- Bundeswehr
- Justizvollzugsanstalten

Die Berechnung des Biogaspotenzials aus Speiseresten der Großküchen und Kantinen erfolgt über eine deutschlandweite Aufsummierung der anfallenden Menge und einer anschließenden einwohnerbezogenen Umverteilung pro Ort. Nach [HMUELV 2008] werden in Deutschland pro Jahr 10,41 Mrd. Mahlzeiten zubereitet. Pro Mahlzeit fällt im Durchschnitt ein Speiserest von 175 g an. Aus diesen beiden Faktoren kann ein Gesamtanfall an Speiseresten für Deutschland von 1,8 Mio. t pro Jahr errechnet werden. Die Aufteilung nach Bundesländern ist in Tabelle 45 zu sehen. Mit Hilfe der Einwohnerzahl ist ein Speiserestanfall pro Ort ableitbar. Speisereste haben einen Methangasertrag von $57 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [BMU 2012a]. Dies entspricht einer deutschlandweiten *theoretischen Energiemenge* von 104 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 3,7 PJ pro Jahr. Abzüglich von 0,5 % Transport- und Lagerverlusten sowie unter Einbeziehung einer Verfügbarkeit von 90 % beträgt das *technische Potenzial* von Küchen- und Speiseresten 93 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 3,3 PJ pro Jahr. Die Transport- und Lagerverluste

werden im Vergleich zu den anderen Substraten aufgrund kurzer Verwertungszeiten geringer eingeschätzt. Bei einem Marktpreis von durchschnittlich 5 €/t Substrat [FNR 2010] sind Speisereste aus Großküchen und Kantinen wirtschaftlich in Biogasanlagen nutzbar. Die geringen Kosten und die derzeitige EEG-Vergütung beeinflussen das *wirtschaftliche Potenzial* nur wenig. Es beträgt 83 Mio. Nm³ Biome-
than bzw. 3,0 PJ pro Jahr.

Tabelle 45: Speisereste aus Großküchen und Kantinen für 2006 nach Bundesländern [HMUELV 2008]

Bundesland	Speise- abfälle in t/a	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a		
		theor.	techn.	wirtsch.
Baden- Württemberg	243.000	13.857.000	12.409.000	11.044.000
Bayern	287.000	16.381.000	14.669.000	13.056.000
Berlin	80.000	4.561.000	4.084.000	3.635.000
Brandenburg	55.000	3.156.000	2.826.000	2.515.000
Bremen	18.000	1.048.000	939.000	835.000
Hamburg	48.000	2.733.000	2.447.000	2.178.000
Hessen	137.000	7.802.000	6.987.000	6.218.000
Mecklenburg- Vorpommern	40.000	2.252.000	2.017.000	1.795.000
Niedersachsen	164.000	9.328.000	8.353.000	7.434.000
Nordrhein- Westfalen	379.000	21.591.000	19.335.000	17.208.000
Rheinland-Pfalz	79.000	4.476.000	4.008.000	3.567.000
Saarland	23.000	1.312.000	1.174.000	1.045.000
Sachsen	101.000	5.780.000	5.176.000	4.607.000
Sachsen-Anhalt	58.000	3.303.000	2.958.000	2.633.000
Schleswig- Holstein	57.000	3.229.000	2.892.000	2.574.000
Thüringen	53.000	3.031.000	2.714.000	2.415.000
Deutschland, gesamt	<i>1.822.000</i>	<i>103.840.000</i>	<i>92.988.000</i>	<i>82.760.000</i>

Abbildung 82 stellt das Biogaspotenzial für Deutschland ortsbezogen grafisch dar. Dabei ist zu erkennen, dass aufgrund der hohen Einwohnerdichte in Nordrhein-Westfalen und dem Südwesten Deutschlands die größten Potenziale vorhanden sind.

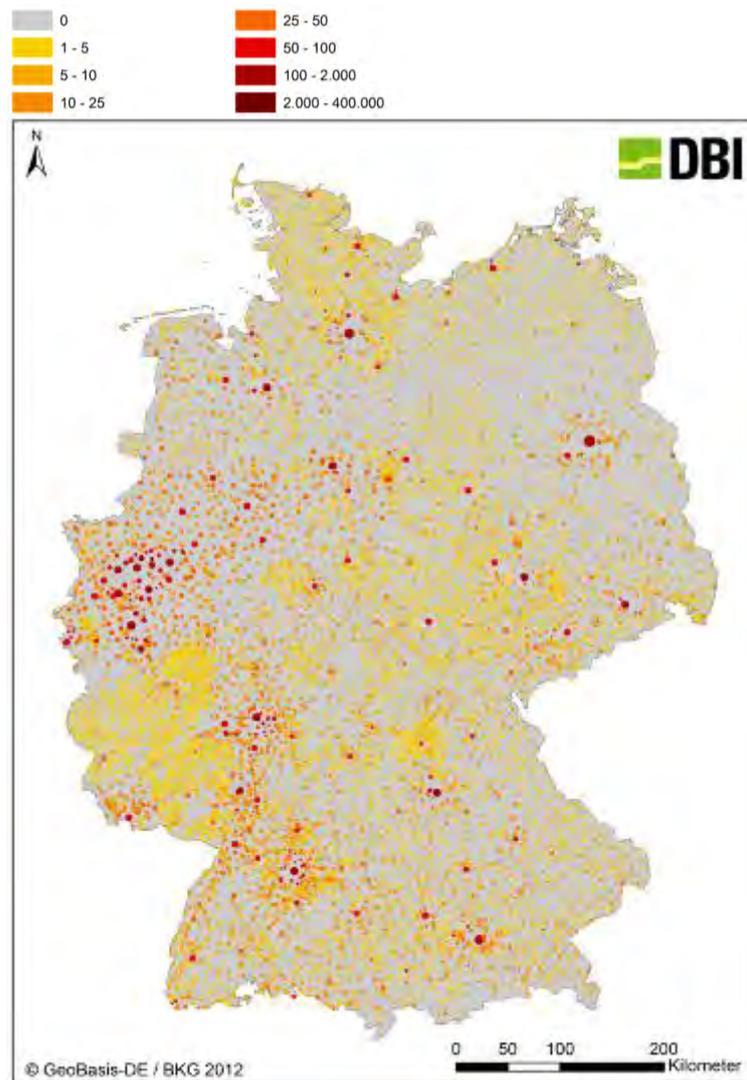


Abbildung 82: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Großküchen und Speiseabfällen pro Ort in Nm³ CH₄/ha

Der Vergleich mit anderen Studien zeigt weitest gehende Übereinstimmung in den ermittelten Potenzialen (Abbildung 83). Dennoch geben zwei Studien ein weitaus geringeres Potenzial an. [BMU 2008] legt die jährliche Abfallmenge in Höhe der vorhandenen Vergärungskapazität (1 Mio. t/a) fest. Gleichzeitig wird eine Bandbreite für das Aufkommen von 0,4 bis 2,0 Mio. t/a genannt. Umgerechnet auf das jährliche Biomethangaspotenzial liegen die in der vorliegenden Studie berechneten Werte im oberen Bereich dieser Bandbreite. In [SCHOLWIN 2007] fließen lediglich verdorbene Lebensmittel und nicht genießbares Altbrot bzw. solche, die aus hygienischen und gesundheitlichen Aspekten nicht verkauft werden können, in die Betrachtung ein.

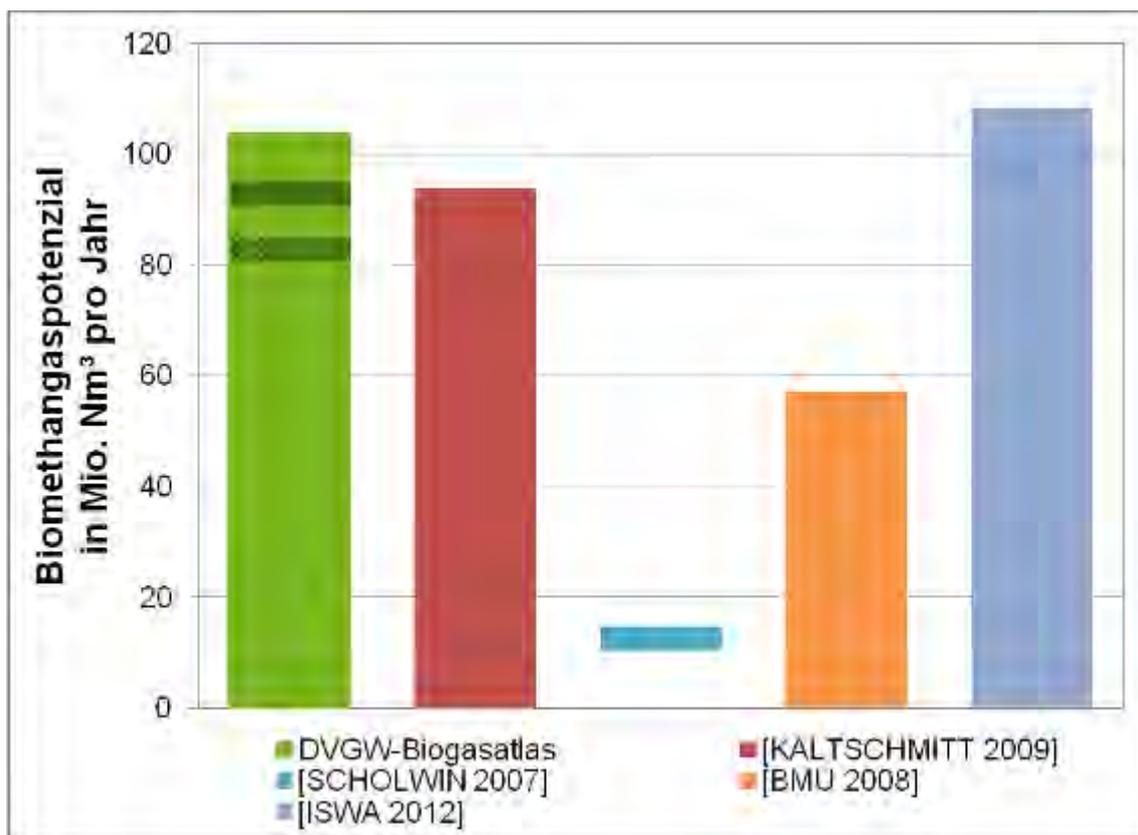


Abbildung 83: Biomethangaspotenzial aus Speiseresten der Großküchen und Kantinen im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben; Schraffur: wirtschaftliches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Speisereste aus Großküchen und Kantinen

Speisereste fallen in Kantinen und Küchen von Schulen, Krankenhäusern und anderen öffentlichen Einrichtungen an. Diese Institutionen sind dazu verpflichtet, die Speiseabfälle zu entsorgen. Über die Biotonne ist dies nicht zulässig. Da jedoch davon ausgegangen werden kann, dass vor allem kleine Imbiss-Stuben und ähnliche Kleinstbetriebe die Entsorgung über die Biotonne durchführen, ist die Dunkelziffer der Abfallmenge wesentlich höher [KERN 2011]. Betrachtet über die Jahre 2002 bis 2009 ist eine leicht steigende Tendenz des Anfalls an Speiseresten zu erkennen. Zwischen den Jahren sind jedoch größere Abweichungen zu erkennen. Speisereste wurden bis 2006 in landwirtschaftlichen Betrieben zur Fütterung eingesetzt bzw. zur Futtermittelherstellung verwendet. Im Jahr 2006 wurde dann ein Verfütterungsverbot von Speiseresten in Kraft gesetzt. Dadurch stieg die Menge an erfasstem Material an [KERN 2011]. Des Weiteren nimmt die Verpflegung von Schulkindern, Angestellten und weiteren Personengruppen im öffentlichen Bereich immer weiter zu. Durch die Umstellung auf Ganztagschulen verfügen immer mehr bundesdeutsche Schulen über eigene Kantinen.

Tendenziell wird die Menge an erfassbaren Speiseresten aus Kantinen und Großküchen in Zukunft weiter leicht ansteigen. Die rechtlichen Vorgaben zur Entsor-

gung werden aus Umweltschutzgründen immer schärfer, sodass sich immer mehr Unternehmen an die Entsorgungsrichtlinien halten.

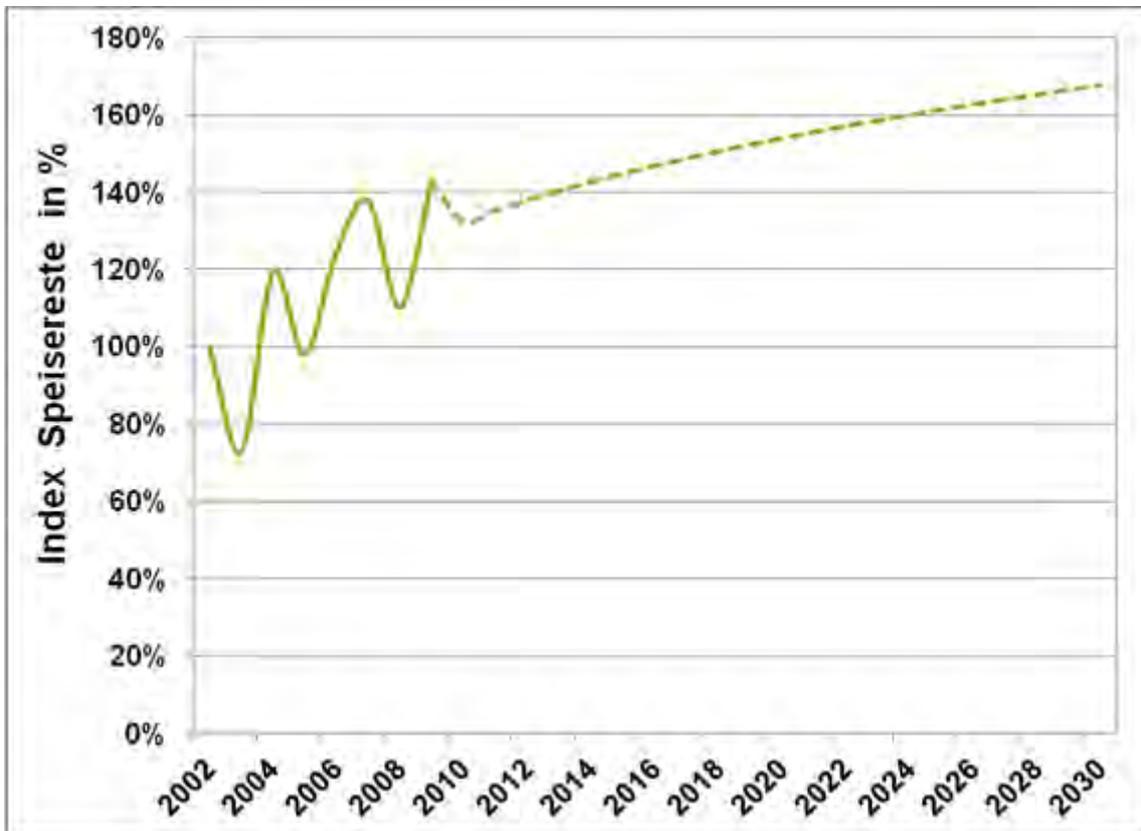


Abbildung 84: Entwicklung und Prognose der Speisereste von 2002 bis 2030 [HMUELV 2008, eigene Berechnungen] (Basisjahr: 2002=100 %)

Im Jahr 2015 werden tendenziell 1,84 Mio. t Speisereste in Deutschland verfügbar sein. Diese Zahl steigt bis 2020 weiter bis 1,96 Mio. t. Im Jahr 2030 werden 2,14 Mio. t Speisereste aus Küchen und Kantinen theoretisch energetisch nutzbar sein. Das theoretische Biomethangaspotenzial wird von 105 Mio. Nm³ Biomethan im Jahr 2015 über 112 Mio. Nm³ Biomethan (2020) auf 122 Mio. Nm³ Biomethan im Jahr 2030 ansteigen. Die Entwicklung ist in nachfolgender Abbildung nachzuvollziehen.

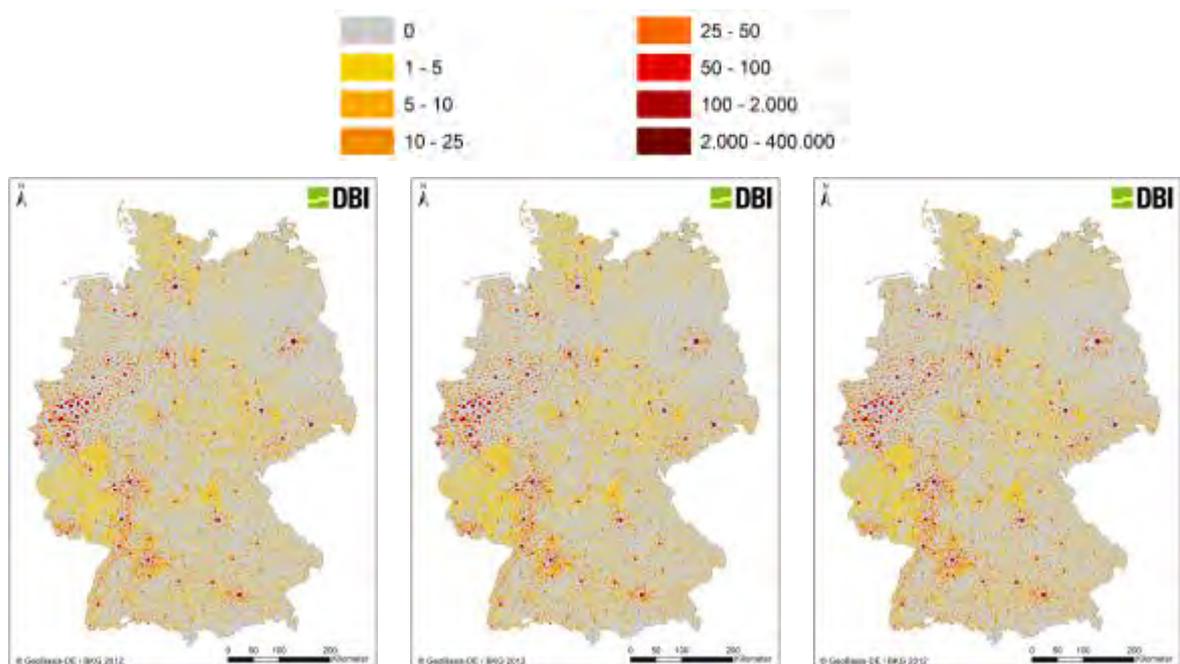


Abbildung 85: Theoretisches Biomethanpotenzial von Speiseresten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.3.4.2 Supermarkttreste

Abfälle in Supermärkten setzen sich nicht nur aus verdorbener Ware zusammen. Eine große Rolle spielt das Käuferverhalten. Dies führt dazu, dass oftmals genießbare Lebensmittel mit jedoch kleineren (optischen) Mängeln entsorgt werden, um Platz für frische Ware zu schaffen. Das Thema hat in den Medien durch das mehr und mehr verbreitete „Containern“ an Aktualität gewonnen. Laut [ISWA 2012] fallen im Lebensmittelhandel jährlich 550.000 t organische Abfälle an. Darin enthalten sind sowohl entsorgte Lebensmittel als auch Lebensmittel für karitative Zwecke.

Die Menge an organischen Reststoffen pro Supermarkt ist abhängig von dessen Food-Anteil (Lebensmittel-Anteil an der Verkaufsfläche). Das Bundeskartellamt unterscheidet in [BKA 2005] vier verschiedene Verkaufsmarkt-Kategorien:

- Discounter
- Vollsortimenter
- Drogeriemärkte
- Sonstige (Elektromärkte, ...)

Drogeriemärkte und sonstige Märkte haben einen vernachlässigbar kleinen Food-Anteil und finden hier keine Berücksichtigung. Unter Vollsortimenter fallen verschiedene Supermarktketten, sodass diese detaillierter anhand ihrer Verkaufsfläche kategorisiert werden. Grundlage dafür bildet die Sortimentsbreitenerhebung des EHI Retail Institute [EHI 2008].

Tabelle 46 zeigt die in der Biogaspotenzialberechnung verwendete Kategorisierung mit den berechneten Food-Anteilen.

Tabelle 46: Kategorisierung von Supermärkten mit Food-Anteil nach [STALYS 2010], [CIMA 2007], [EHI 2008]

Kategorie	Verkaufsfläche insgesamt	Food-Anteil
Discounter	–	80 %
Vollsortimenter	bis 2500 m ²	75 %
	2500 bis 5000 m ²	50 %
	über 5000 m ²	30 %

Zur Berechnung liegen Standortdaten von etwa 30.000 Supermärkten vor, wovon etwa 22.800 Discounter und Vollsortimenter sind. Die restlichen Standorte entfallen auf Drogeriemärkte und sonstige Märkte. Bei den etwa 22.800 Discountern und Vollsortimentern sind 33 Handelsketten enthalten sowie deren durchschnittliche Gesamtverkaufsfläche [BKA 2005]. Unter Verwendung der in Tabelle 46 angegebene Food-Anteile lässt sich ein durchschnittlicher spezifischer Wert von 29,4 kg organischer Supermarktreste pro Jahr und m² Food-Verkaufsfläche ermitteln. Anhand der durchschnittlichen Verkaufsflächen ist anschließend das Abfallaufkommen je Supermarktstandort ableitbar.

Der Methangasertrag von Supermarktresten beträgt 57 Nm³ CH₄/t FM [BMU 2012a]. Das *theoretische Potenzial* beläuft sich somit für Gesamtdeutschland auf 31 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 1,1 PJ pro Jahr. Die Menge, welche karitativen Zwecken zugeht, ist mit 18 kg pro Jahr und m²-Foodverkaufsfläche [SCHNEIDER 2009] abschätzbar. Hochgerechnet auf die betrachteten Filialen ergeben sich etwa 307.000 t/a, die etwa 61,5 % des Gesamtaufkommens entsprechen. Für Transport und Lagerung ist zudem ein Verlust von 0,5 % anzusetzen. Damit ergibt sich ein *technisches Potenzial* von 14 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 0,5 PJ pro Jahr. Bei einem Marktpreis von durchschnittlich 5 €/t Substrat [FNR 2010] sind Supermarktreste wirtschaftlich in Biogasanlagen nutzbar. Diese Substratkosten und die derzeitige EEG-Vergütung führen zu einer nur kleinen Verringerung des *wirtschaftlichen Potenzials* (12 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 0,4 PJ pro Jahr).

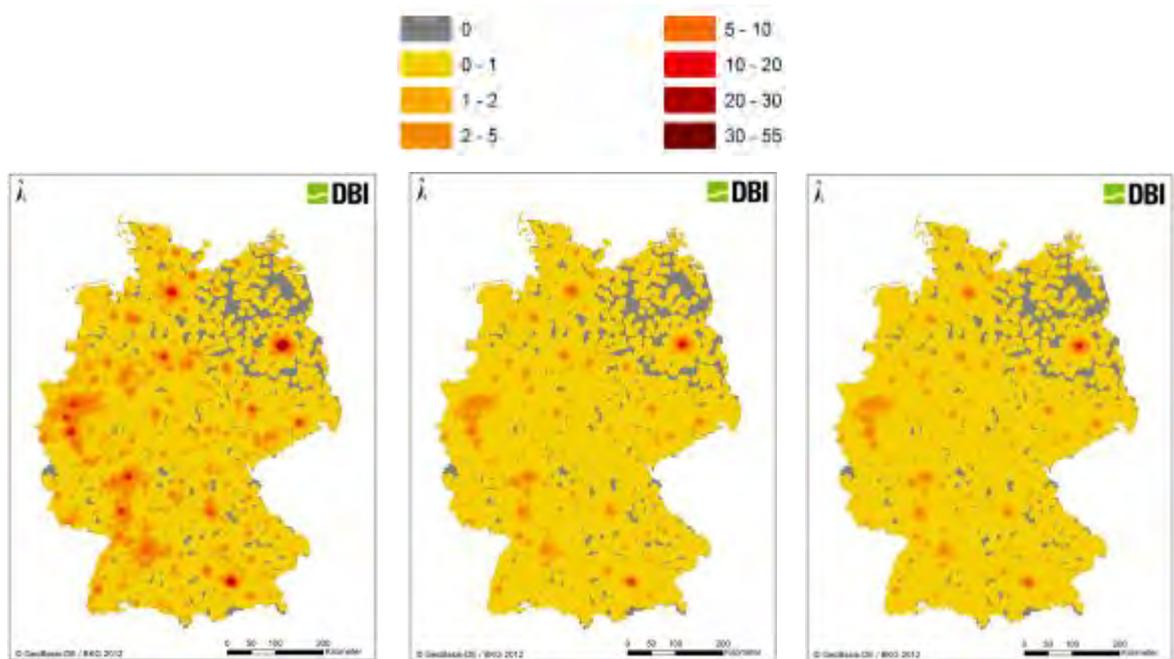


Abbildung 86: Theoretisches (links), technisches (Mitte) und wirtschaftliches (rechts) Biomethanpotenzial von Supermarkttresten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$

Der Vergleich mit anderen Studien zeigt eine hohe Übereinstimmung des technischen Potenzials. (Abbildung 87). Das in dieser Studie berechnete theoretische Potenzial weist im Vergleich einen höheren Wert auf. Die Ursache liegt u.a. in der Annahme in [KALTSCHMITT 2003], dass nur etwa 50 % der Supermarkttreste organisches Material sind, während in der vorliegenden Studie Werte von 30 bis 80 % angewendet werden (vgl. Tabelle 46). Jedoch wird in der begrenzten Anzahl an vergleichbaren Studien die Schwierigkeit einer Potenzialermittlung deutlich.

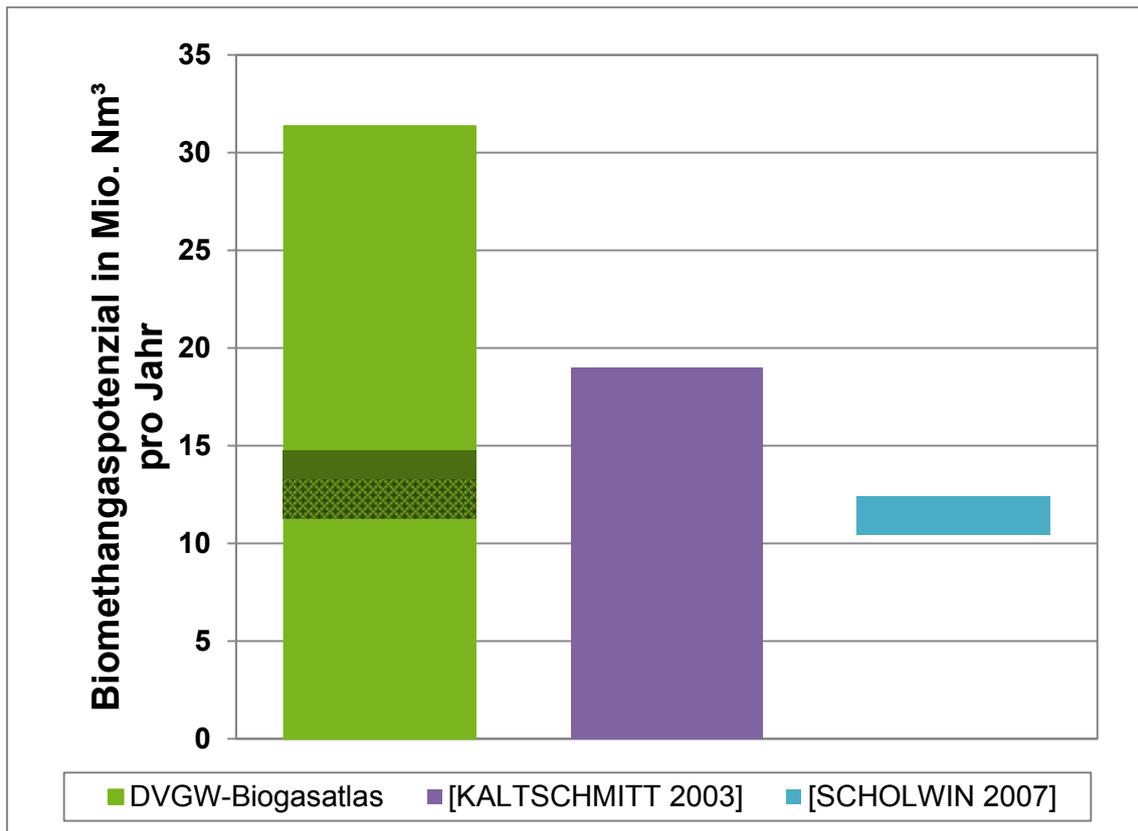


Abbildung 87: Biomethangaspotenzial aus Supermarktresten im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben; dunklere Linie: wirtschaftliches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Supermarktreste

Der Menge an in Supermärkten anfallenden Lebensmittelresten zeigt seit 1996 eine leicht schwankende Entwicklung. Je nach Abgabe von Resten aus Supermärkten an karitative Einrichtungen können die Mengen an energetisch nutzbarem Material variieren. Tendenziell werden die für Biogasanlagen nutzbaren Supermarktreste zukünftig leicht ansteigen. Ähnlich wie bei Speiseresten dürfen auch die Marktreste nicht über die Biotonne entsorgt werden. Somit werden diese einzeln erfass- und messbar.

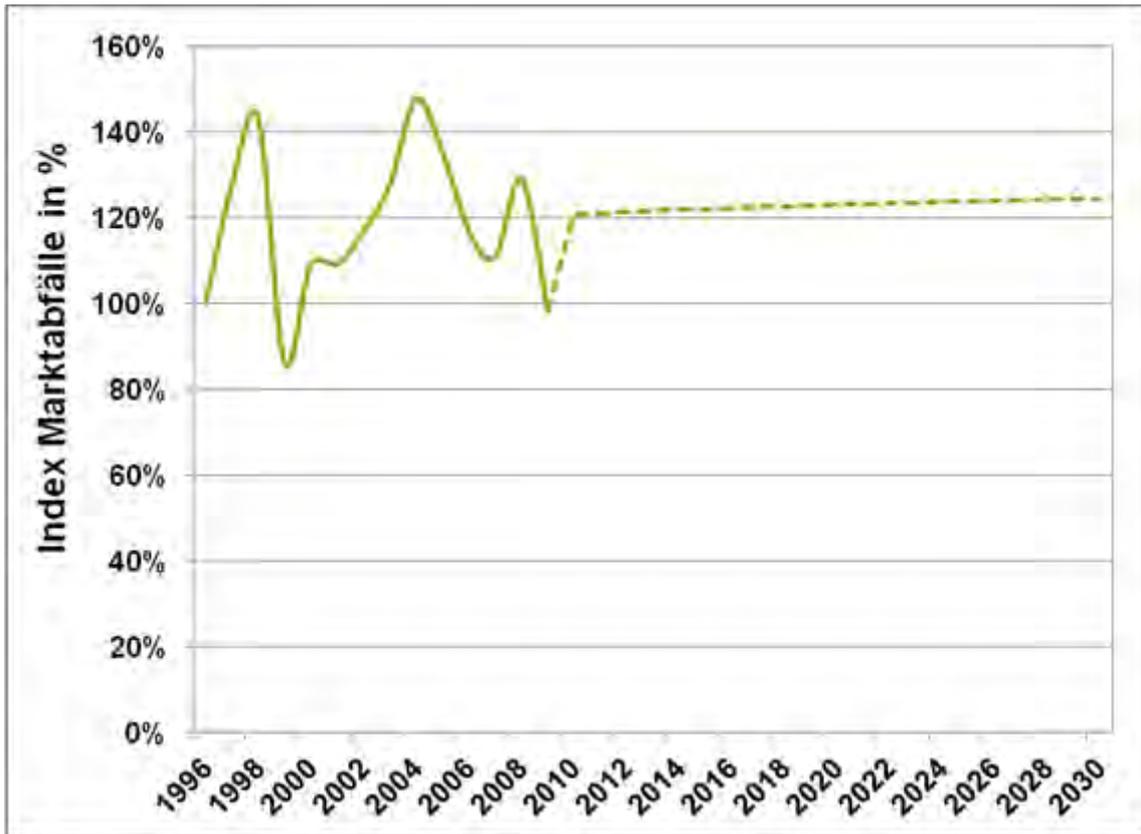


Abbildung 88: Entwicklung und Prognose der Supermarktreste von 1996 bis 2030 [ISWA 2012, eigene Berechnungen] (Basisjahr: 1996=100 %)

Im Jahr 2015 werden voraussichtlich 680 Tsd. t Supermarktreste theoretisch vorhanden sein. Diese Zahl steigt bis 2020 auf 685 Tsd. t und im Jahr 2030 werden 693 Tsd. t Supermarktreste vorhanden sein. Diese Mengen resultieren in theoretischen Biomethangaserträgen von 38,7 Mio. Nm³Biomethan für 2015 (1,38 PJ pro Jahr), 39,0 Mio. m³ Biomethan für 2020 (1,40 PJ pro Jahr) und 39,5 Mio. Nm³ Biomethan in 2030 (1,41 PJ pro Jahr).

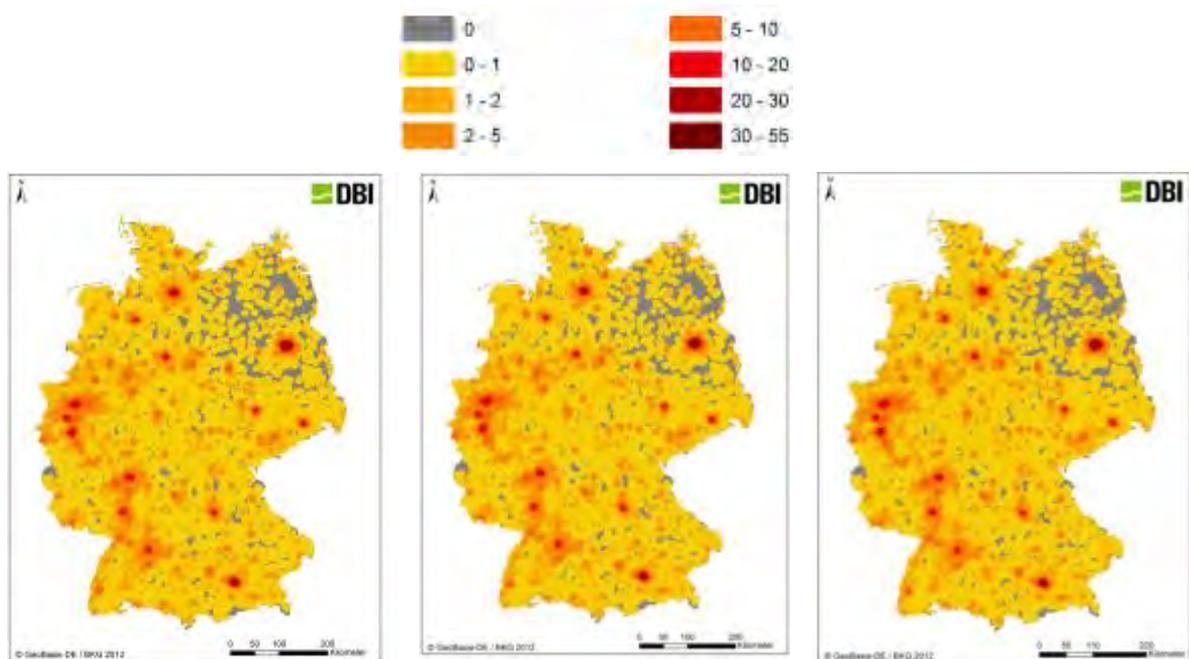


Abbildung 89: Theoretisches Biomethanpotenzial von Supermarktresten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.3.5 Straßenbegleitgrün

Laut Statistischem Bundesamt gibt es in Deutschland ca. 231.000 km Straßen des überörtlichen Verkehrs [STB 2011c]. Diese sind aufgrund ihrer Bedeutung verschieden ausgebaut und entsprechend kategorisiert. Zu den Straßen des überörtlichen Verkehrs gehören:

- Autobahnen
- Bundesstraßen
- Land-/Staatsstraßen
- Kreisstraßen

Gemeindestraßen gehören nicht dazu und werden auch nicht vom Statistischen Bundesamt erfasst. Das anfallende Straßenbegleitgrün der Gemeindestraßen wird im Substrat Grünschnitt berücksichtigt, da die Pflege zumeist über die Kommune oder die Anwohner erfolgt [SCHOLWIN 2007]. Die Pflege der Straßen des überörtlichen Verkehrs liegt im Zuständigkeitsbereich der Straßenmeistereien. Prinzipiell wird bei der Straßenrandpflege, wie in Abbildung 90 dargestellt, zwischen Bankett, Böschung und dem Mittelstreifen bei Autobahnen unterschieden.

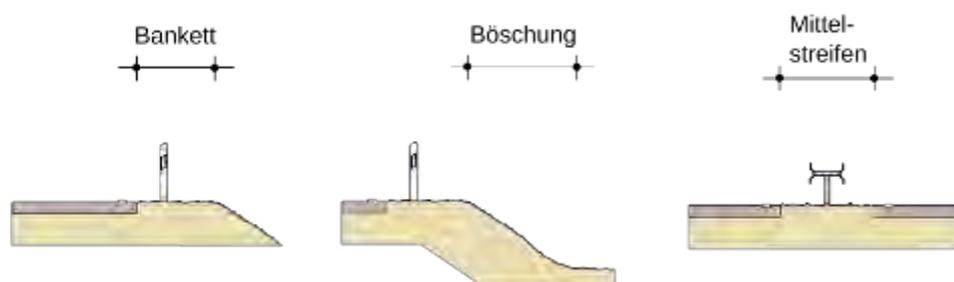


Abbildung 90: Pflegeflächen an Autobahnen und restlichen Straßen nach [PÖSCHL 2008]

Die Breitenangaben für das Bankett und den Mittelstreifen lassen sich aus den Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Querschnitt (RAS-Q295/1996) ableiten. Für die Böschung erfolgt je nach Straßentyp eine Abschätzung. Diese basiert auf durchschnittlichen Zahlenwerten zum gesamten Mähstreifen aus den Studien von [KALTSCHMITT 2009] und [HMUELV 2008]. In Tabelle 47 sind die für diese Studie zugrunde gelegten, einzelnen Pflegeflächen zusammengefasst.

Als Grundlage zur Berechnung des Anfalls an Straßenbegleitgrün dienen die Standorte der Straßen- bzw. Autobahnmeistereien sowie die dazugehörigen Straßen. Zur detaillierteren Betrachtung der anfallenden Mengen an Straßenbegleitgrün werden die Straßen in

- Autobahnen und
- restliche Straßen (Bundes-, Land- und Kreisstraßen)

unterteilt.

Tabelle 47: Pflegestreifen der Straßen des überörtlichen Verkehrs [STB 2011c], [GRUSCHKA 2009]

Straßentyp	Vorkommen	Bankett	Böschung	Mittelstreifen	Mähstreifen
Beschreibung	<i>Länge in km</i>	<i>Breite in m</i>	<i>Breite in m</i>	<i>Breite in m</i>	<i>Summe Breite in m</i>
Kreisstraße	91.700	1,0	1,0	0,0	4,0
Landstraße	86.600	1,5	0,5	0,0	4,0
Bundesstraße	39.700	1,5	1,5	0,0	6,0
Autobahn	12.800	1,5	5,0	4,0	17,0

GIS-gestützt werden anschließend die Straßenmeisterei dem jeweiligen Straßennetz zugeordnet (Abbildung 91). Straßen innerhalb von Städten oder Ortschaften haben in der Regel keinen oder nur einen sehr geringen Grünstreifen. Die Pflegefläche und das sich daraus ergebende Potenzial sind somit sehr gering. In den

folgenden Betrachtungen werden deshalb für Straßen in Städten oder Ortschaften keine relevanten Pflegeflächen berücksichtigt.

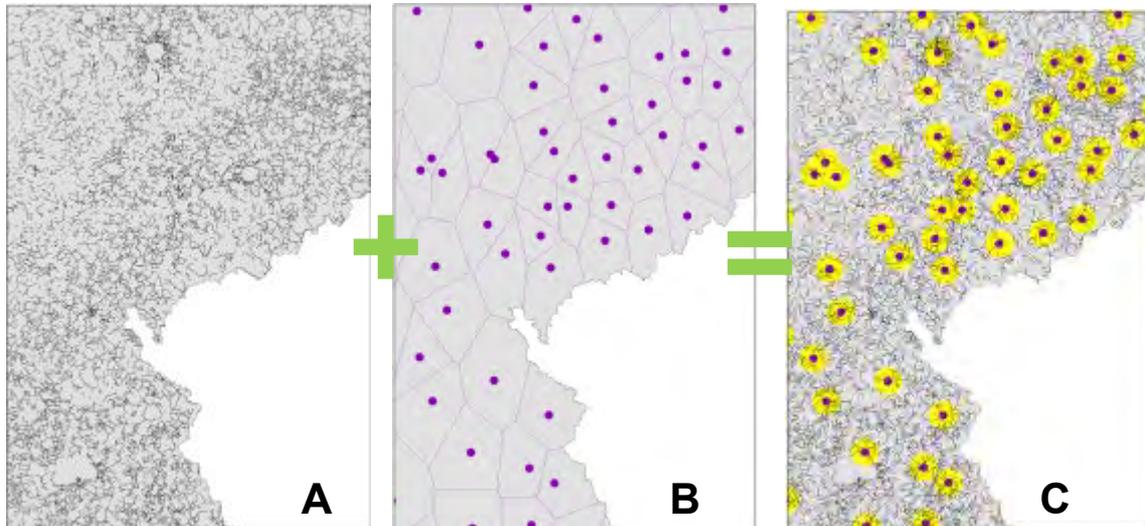


Abbildung 91: Straßenbegleitgrünermittlung
A: Straßennetz (außerhalb von Orten) [schwarz]
B: Straßenmeistereistandorte [violett]
C: Substratliefergebiete der Straßenmeistereistandorte [gelb]

6.3.5.1 Straßenbegleitgrün an Autobahnen

Autobahnmeistereien pflegen Autobahnrandstreifen (Bankett und Böschung), Mittelgrünstreifen, Rastplätze etc. Diese Pflegefläche beträgt im Durchschnitt 1,7 ha/km Autobahn (Abbildung 92). Der jährliche Aufwuchs beträgt ca. 8 t FM/ha Pflegefläche [KALTSCHMITT 2009].

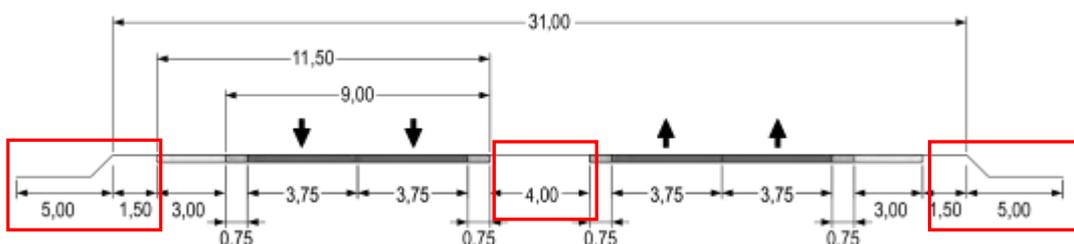


Abbildung 92: Querschnitt einer Autobahn [GRUSCHKA 2009]

Mit einem Methangasertrag von 43 Nm³ CH₄/t FM [BMU 2012a] beträgt das *theoretische Biogaserzeugungspotenzial* etwa 7,8 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 0,28 PJ pro Jahr. Da aufgrund technischer Gegebenheiten nur 20 % des Straßenbegleitgrüns an Autobahnen geborgen werden können und zusätzlich 6 % Lager- und Silierverluste angenommen werden [HMUELV 2008], reduziert sich der Wert des

technischen Potenzials im Vergleich zum theoretischen Potenzial erheblich. Das technische Biogaspotenzial liegt bei 1,4 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 0,05 PJ pro Jahr. Straßenbegleitgrün, das an Autobahnen geborgen wird, kann kostenfrei bzw. zu einem geringen Preis bezogen werden. Daher sind für die Berechnung des *wirtschaftlichen Potenzials* keine Abzüge vom technischen Potenzial vorzunehmen. Abbildung 93 zeigt das theoretische und technische Biogaspotenzial je Autobahnmeistereistandort grafisch.

Tabelle 48: Potenzial des Straßenbegleitgrüns von Autobahnen nach Bundesländern [STB 2011d]

Bundesland	Autobahn-kilometer	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a		
		theor.	techn.	wirtsch.
Baden-Württemberg	1.050	637.000	120.000	120.000
Bayern	2.500	1.523.000	286.000	286.000
Berlin	80	47.000	9.000	9.000
Brandenburg	800	484.000	91.000	91.000
Bremen	80	46.000	9.000	9.000
Hamburg	80	49.000	9.000	9.000
Hessen	970	592.000	111.000	111.000
Mecklenburg-Vorpommern	550	337.000	63.000	63.000
Niedersachsen	1.430	871.000	164.000	164.000
Nordrhein-Westfalen	2.200	1.339.000	252.000	252.000
Rheinland-Pfalz	880	533.000	100.000	100.000
Saarland	240	146.000	27.000	27.000
Sachsen	530	323.000	61.000	61.000
Sachsen-Anhalt	410	248.000	47.000	47.000
Schleswig-Holstein	530	324.000	61.000	61.000
Thüringen	500	303.000	57.000	57.000
Deutschland, gesamt	12.820	7.802.000	1.467.000	1.467.000

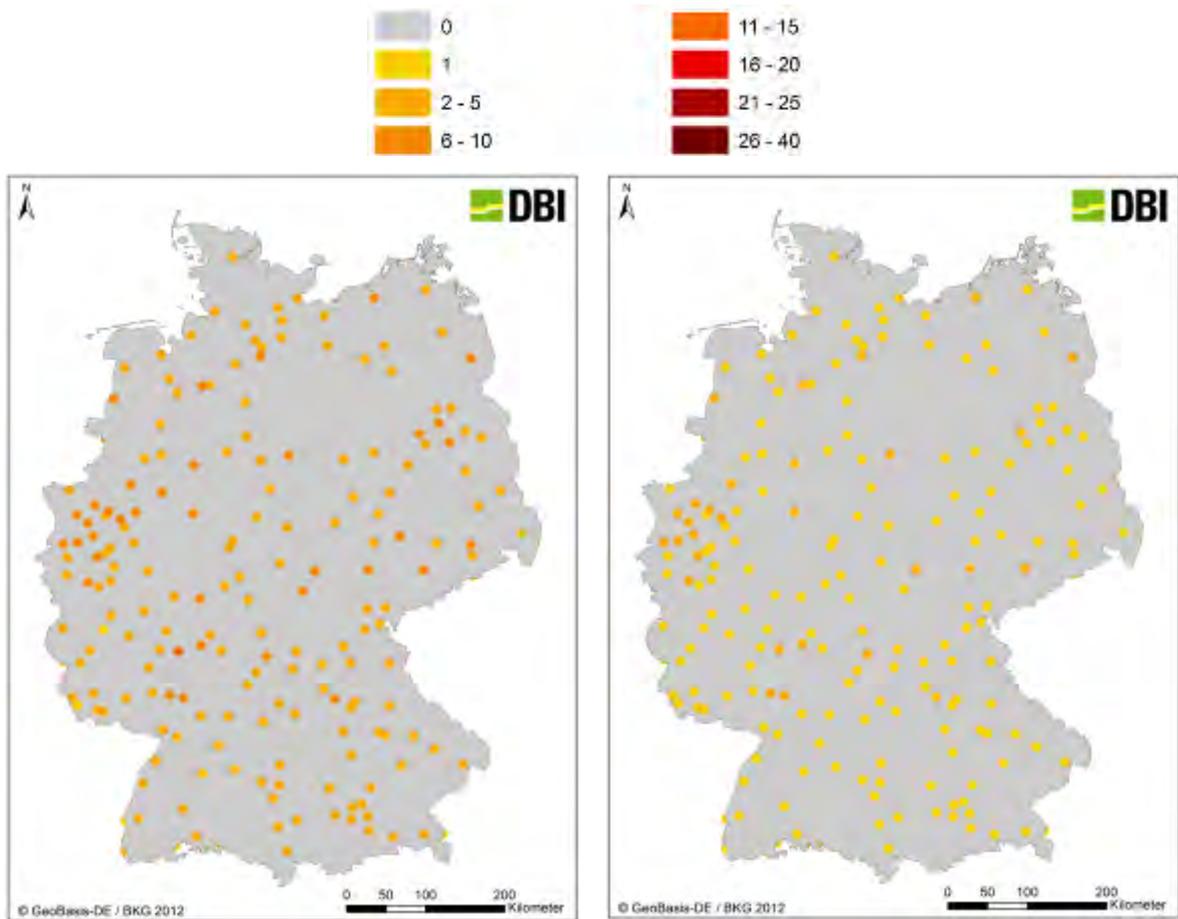


Abbildung 93: Theoretisches (links) und technisches (rechts) Biomethanpotenzial aus Straßenbegleitgrün von Autobahnen pro Autobahnmeisterei (AB= Autobahn) in Nm³ CH₄/ha

6.3.5.2 Straßenbegleitgrün an Bundes-, Landes- und Kreisstraßen

Straßenmeistereien pflegen die Bankettstreifen und Böschungen von Bundes-, Land- und Kreisstraßen. Je nach Straßenkategorie unterscheiden sich die Pflegeflächen in ihrer Größe. Zudem variieren die Pflegeflächen innerhalb einer Straßenkategorie. Schwer einsehbare Straßenabschnitte, Kreuzungsbereiche und weitere Gefahrenstellen sind öfter und breiter zu mähen als andere. Kleinere Kreis- und Ortsverbindungsstraßen und auch Landstraßen weisen im Durchschnitt eine Mähfläche von ca. 0,4 ha/km Straße auf. Am größten sind die Pflegeflächen von Bundesstraßen mit durchschnittlich 0,6 ha/km [KALTSCHMITT 2009]. Abbildung 94 bis Abbildung 96 zeigen Straßenquerschnitte mit Rand- und Bankettstreifen der betrachteten Straßen.

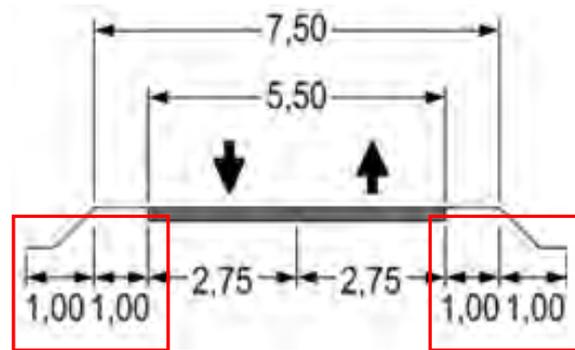


Abbildung 94: Straßenquerschnitt von Kreisstraßen [GRUSCHKA 2009]

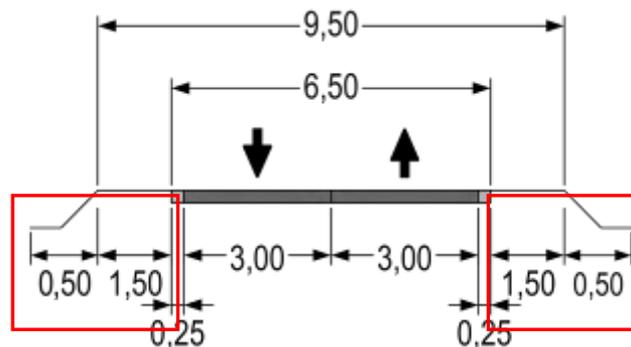


Abbildung 95: Straßenquerschnitt von Landstraßen [GRUSCHKA 2009]

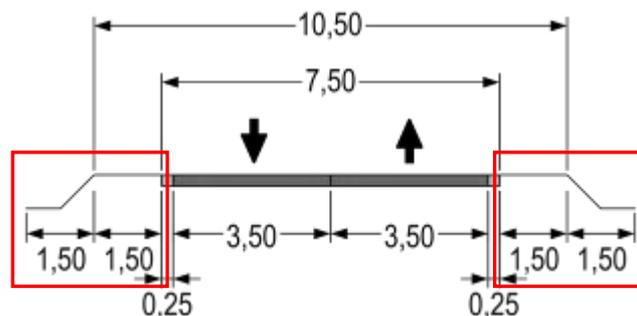


Abbildung 96: Straßenquerschnitt von Bundesstraßen [GRUSCHKA 2009]

Straßen, die sich innerorts befinden, werden bei den nachfolgenden Betrachtungen außer Acht gelassen, weil der dort zu pflegende Grünstreifen vernachlässigbar ist. Für Straßen außerorts erfolgt die Ermittlung der jährlichen Aufwuchsmenge (8 t FM/ha [KALTSCHMITT 2009]). Der Anfall an Straßenbegleitgrün wird anschließend für jede Straßenmeisterei bestimmt. Verrechnet mit einem Methangasertrag von $43 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ wird das *theoretische Biogaspotenzial* von Straßenbegleitgrün bestimmt. Es beträgt etwa 35 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 1,3 PJ pro Jahr. Auch an Bundes-, Landes- und Kreisstraßen können nur 20 % des gemähten Begleitgrüns geborgen werden [KALTSCHMITT 2009] und zusätzlich werden 6 % Lager- und Silierverluste angenommen [HMUELV 2008]. Somit sinkt das *technische Biogaspotenzial* auf etwa 6,6 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 0,24 PJ pro

Jahr. Straßenbegleitgrün, welches an Bundes-, Land- und Kreisstraßen anfällt, kann kostenfrei bzw. kostengünstig als Biogasanlagensubstrat erworben werden. Damit ist das *wirtschaftliche* dem technischen Potenzial gleichzusetzen. Abbildung 97 zeigt das technische und theoretische Biogaspotenzial aus Straßenbegleitgrün der Bundes- Landes- und Kreisstraßen je Straßenmeisterei.

Tabelle 49: Potenzial des Straßenbegleitgrüns von Bundes-, Land- und Kreisstraßen nach Bundesländern [STB 2011d]

Bundesland	Straßenkilometer von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen	Potenzial in Nm ³ CH ₄ /a		
		theor.	techn.	wirtsch.
Baden-Württemberg	26.360	4.274.000	804.000	804.000
Bayern	39.360	6.382.000	1.200.000	1.200.000
Berlin	170	28.000	5.000	5.000
Brandenburg	11.570	1.876.000	353.000	353.000
Bremen	40	7.000	1.000	1.000
Hamburg	120	20.000	4.000	4.000
Hessen	15.160	2.459.000	462.000	462.000
Mecklenburg-Vorpommern	9.450	1.532.000	288.000	288.000
Niedersachsen	26.820	4.350.000	818.000	818.000
Nordrhein-Westfalen	27.370	4.438.000	834.000	834.000
Rheinland-Pfalz	17.540	2.844.000	535.000	535.000
Saarland	1.800	293.000	55.000	55.000
Sachsen	12.970	2.102.000	395.000	395.000
Sachsen-Anhalt	10.550	1.711.000	322.000	322.000
Schleswig-Holstein	9.360	1.518.000	285.000	285.000
Thüringen	9.330	1.512.000	284.000	284.000
<i>Deutschland, gesamt</i>	<i>217.960</i>	<i>35.344.000</i>	<i>6.645.000</i>	<i>6.645.000</i>

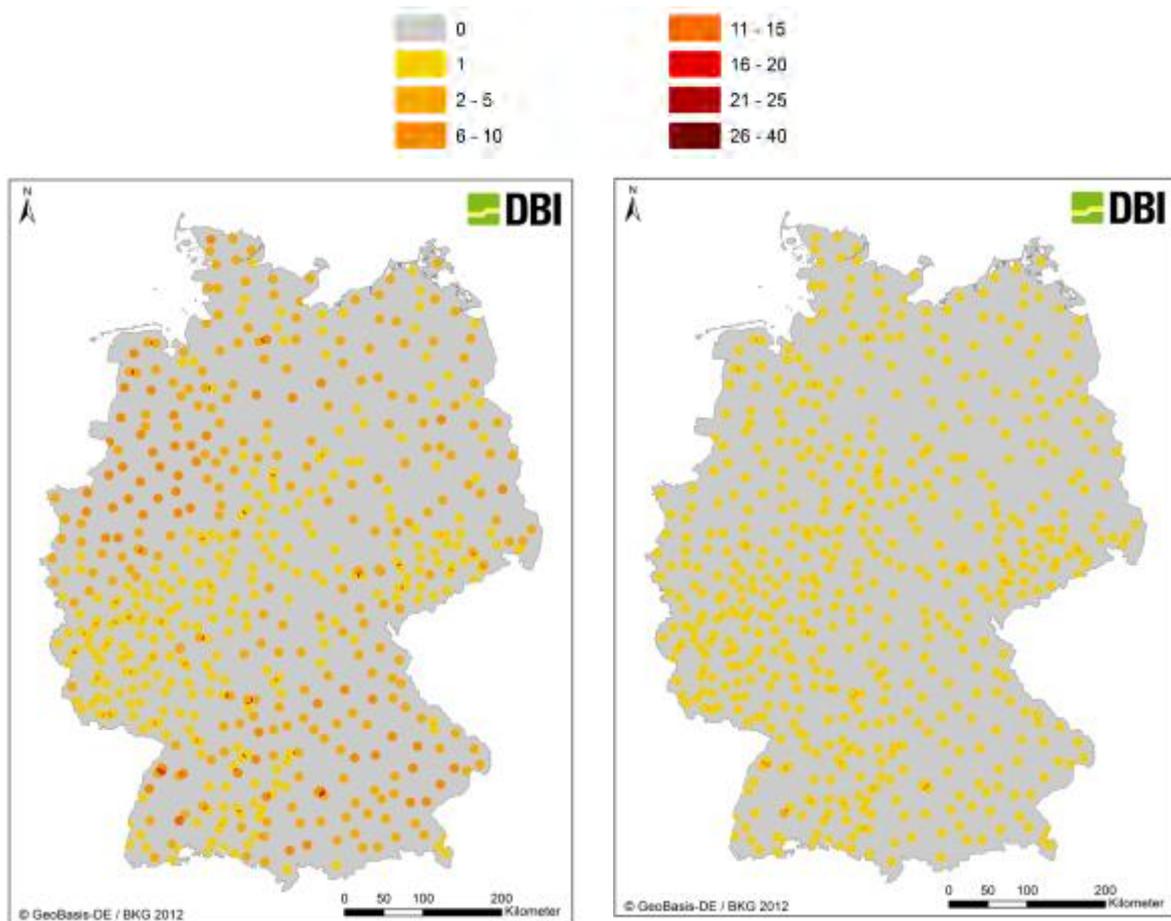


Abbildung 97: Theoretisches (links) und technisches (rechts) Biomethanpotenzial aus Straßenbegleitgrün von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen pro Straßenmeisterei (BS = Bundes- und sonstige Straßen) in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$

6.3.5.3 Gesamtpotenzial Straßenbegleitgrün

Das ermittelte *theoretische Biogaspotenzial* aus Straßenbegleitgrün aller Straßen des überörtlichen Verkehrs beläuft sich auf etwa 43 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 1,5 PJ pro Jahr. Das *technische Potenzial* beträgt 8,1 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 0,29 PJ pro Jahr. Da das organische Material kostenfrei bzw. günstig erworben werden kann, sind das technische und das *wirtschaftliche Potenzial* gleichzusetzen.

Im Vergleich zu anderen Studien liegen die in dieser Studie ermittelten Werte nahe beieinander (Abbildung 98). Bei der getrennten Betrachtung von Autobahnen und den anderen Straßen des überörtlichen Verkehrs fällt auf, dass das ermittelte Potenzial von Bundes-, Land- und Kreisstraßen unterhalb vergleichbarer Werte liegt (Abbildung 99). Ursache hierfür ist, dass nur Straßenkilometer außerhalb von Ortschaften beachtet werden. Das innerorts anfallende organische Material wird als Grünschnitt entsorgt und vergrößert so das Biogaspotenzial dieses Substrats im Vergleich zu anderen Studien (Abbildung 75). Die Studie [SCHOLWIN 2007] stellt einen Ausreißer nach oben dar. Grund hierfür ist eine angenommene Ver-

fübarkeit von einem bis zwei Drittel, während die anderen Studien eine Verfügbarkeit von 20 % zu Grunde legen.

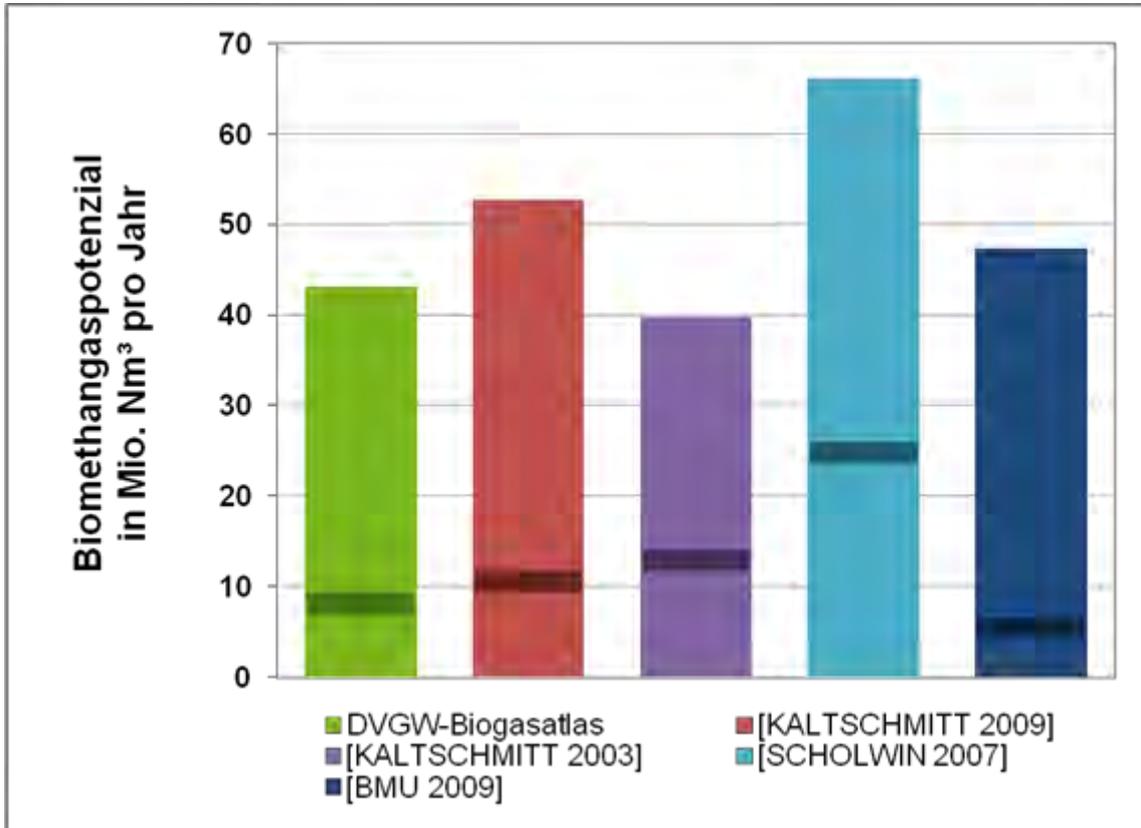


Abbildung 98: Biomethangaspotenzial aus Straßenbegleitgrün aller Straßen des überörtlichen Verkehrs im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

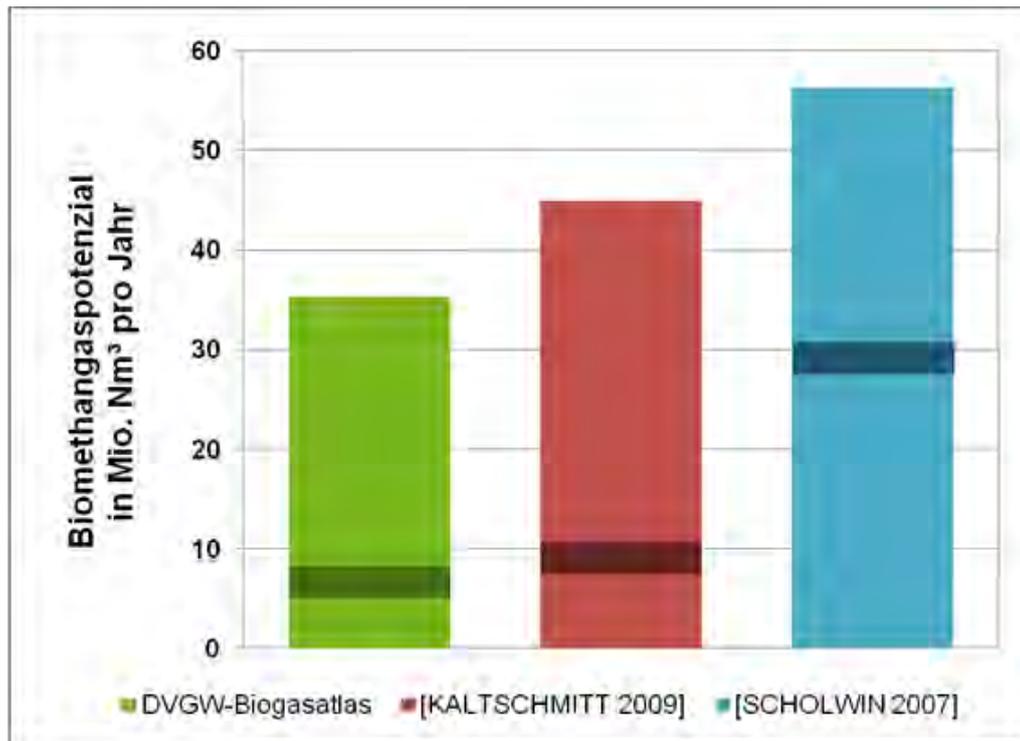


Abbildung 99: Biomethangaspotenzial aus Straßenbegleitgrün von Bundes-, Land- und Kreisstraßen im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

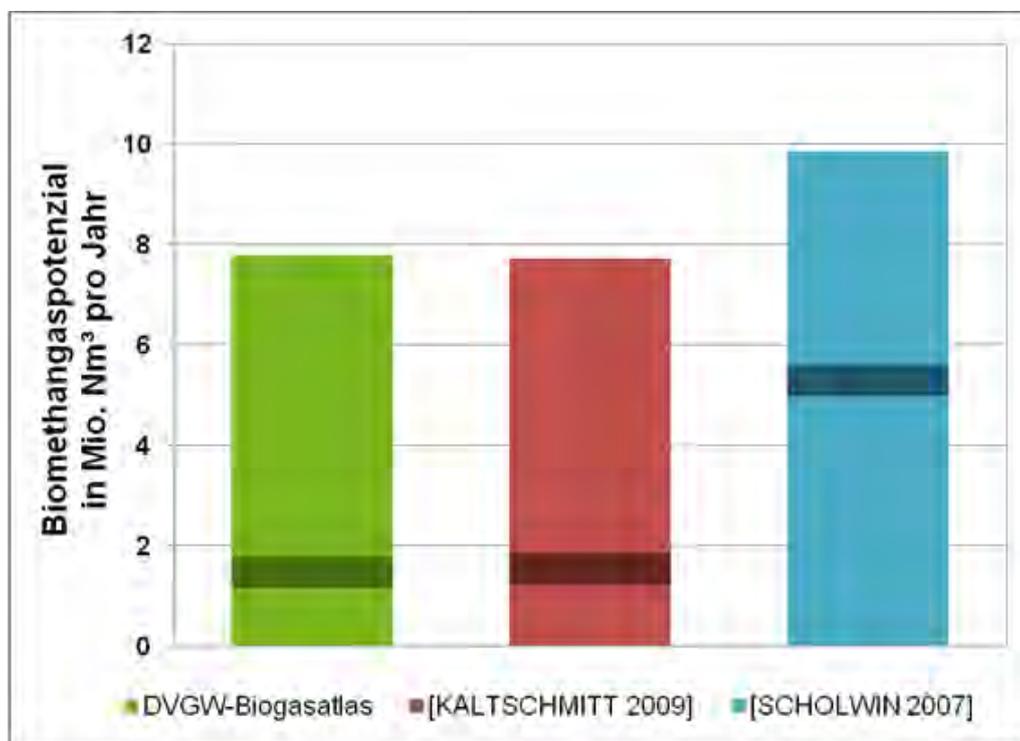


Abbildung 100: Biomethangaspotenzial aus Straßenbegleitgrün von Autobahnen im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Straßenbegleitgrün

In Deutschland existiert derzeit ein Netz aus Bundesstraßen von ca. 40.000 km und ein Autobahnnetz von ca. 13.000 km Länge. Trotz dieser langen Strecken ist das tatsächliche Biogaspotenzial aus Straßenbegleitgrün recht gering, da aufgrund technischer Restriktionen nur 20 % des Straßenbegleitgrüns geborgen werden können [KALTSCHMITT 2009]. Die Länge des Autobahnnetzes steigt seit 1970 an. Die Bundesstraßen jedoch zeigen ab 2008 eine leichte rückläufige Entwicklung. Im Rahmen von Umwidmungen werden Bundesstraßen zu Landstraßen. Dies hat das kleiner werdende Bundesstraßennetz zur Folge.

Nach dem Bundesverkehrswegeplan (BVWP) soll das bundesdeutsche Straßennetz bis 2015 weiter ausgebaut werden, in dem noch 5.500 km Bundesstraßen und 1.900 km Bundesautobahnen angegliedert werden [BMVBS 2012]. Dies hätte zur Konsequenz, dass mehr Straßenbegleitgrün anfällt und geborgen werden kann- 2015 werden ca. 14.000 km Autobahnstrecke in Deutschland vorhanden sein. 2020 werden ca. 14.100 km und 2030 ca. 14.400 km Autobahn prognostiziert. Das Netz der Bundesstraßen wird zukünftig ebenfalls dichter. Der BVWP schreibt bis 2015 ca. 45.200 km Bundesstraße vor. Bis 2030 wird die Strecke vermutlich noch auf ca. 47.900 km ausgebaut.

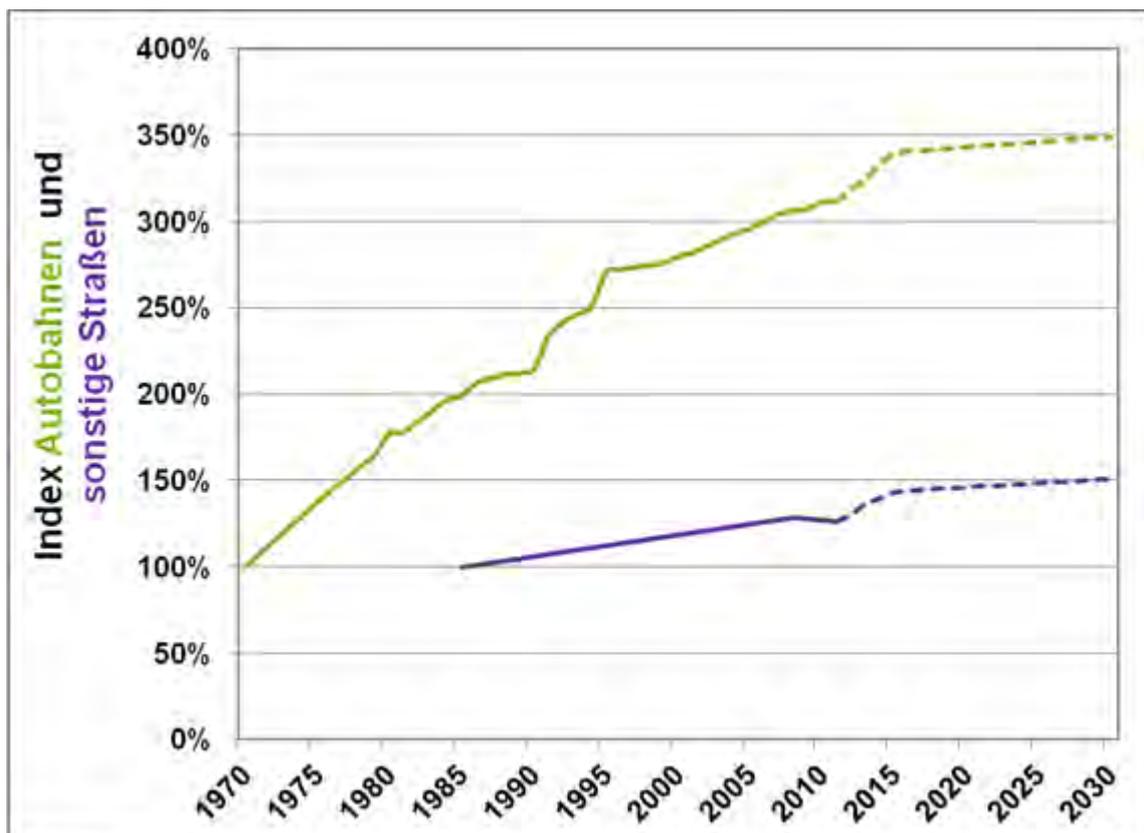


Abbildung 101: Entwicklung und Prognose des Straßenbegleitgrüns an Autobahnen von 1970 bis 2030 (Basisjahr: 1970=100%) und sonstigen Straßen von 1985 bis 2030 (Basisjahr: 1985=100%) [STATISTA 2012a, STB 2011c, eigene Berechnungen]

In Abbildung 101 ist zu sehen, dass der Ausbau der Autobahnen deutlich ansteigen wird. Bundes- und sonstige Straßen werden zwar zugebaut, aber prozentuell nicht in dem Maße wie Autobahnen. Mit zukünftig optimierten Techniken zur Bergung des Grünschnitts an Straßen könnte das technische Potenzial aus Straßenbegleitgrün von der bisher nur zu 20 % verfügbaren Menge deutlich erhöht werden. Doch noch sind keine derartigen Verbesserungen bekannt. Abbildung 102 und Abbildung 103 zeigen die regionale Entwicklung des anfallenden theoretischen Biomethanpotenzials an Autobahnen und sonstigen Straßen. Die gesamte Übersicht zu allen Potenzialen ist im Anhang, Abbildung 185 und Abbildung 186, zu finden.

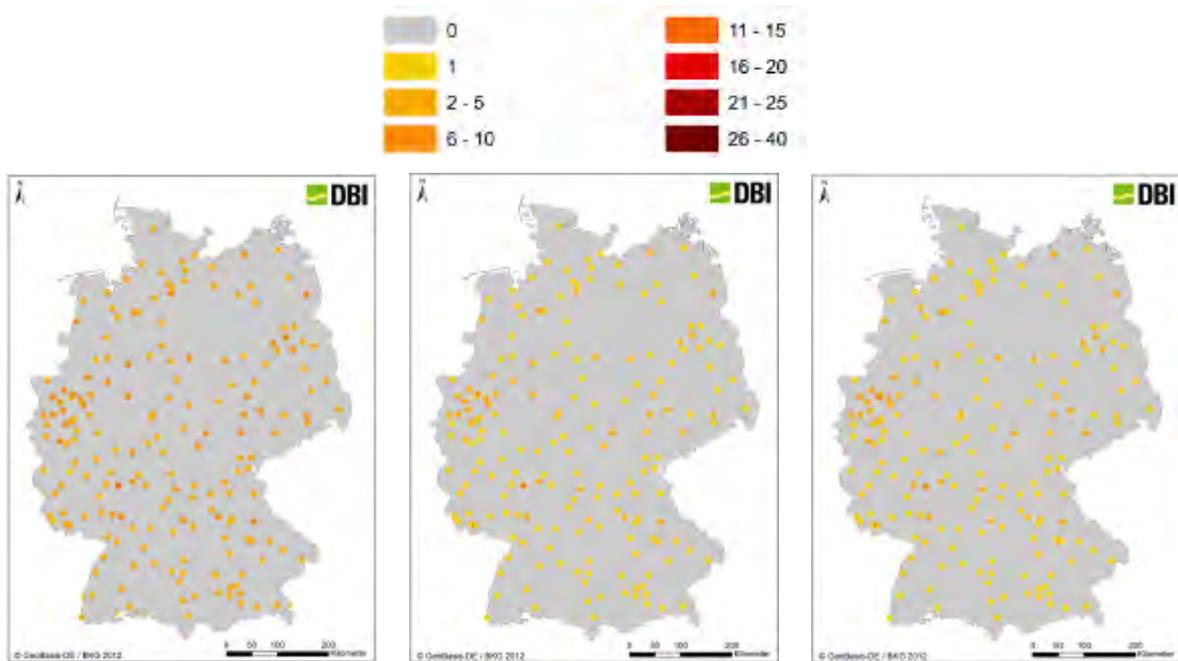


Abbildung 102: Theoretisches Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an Autobahnen in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

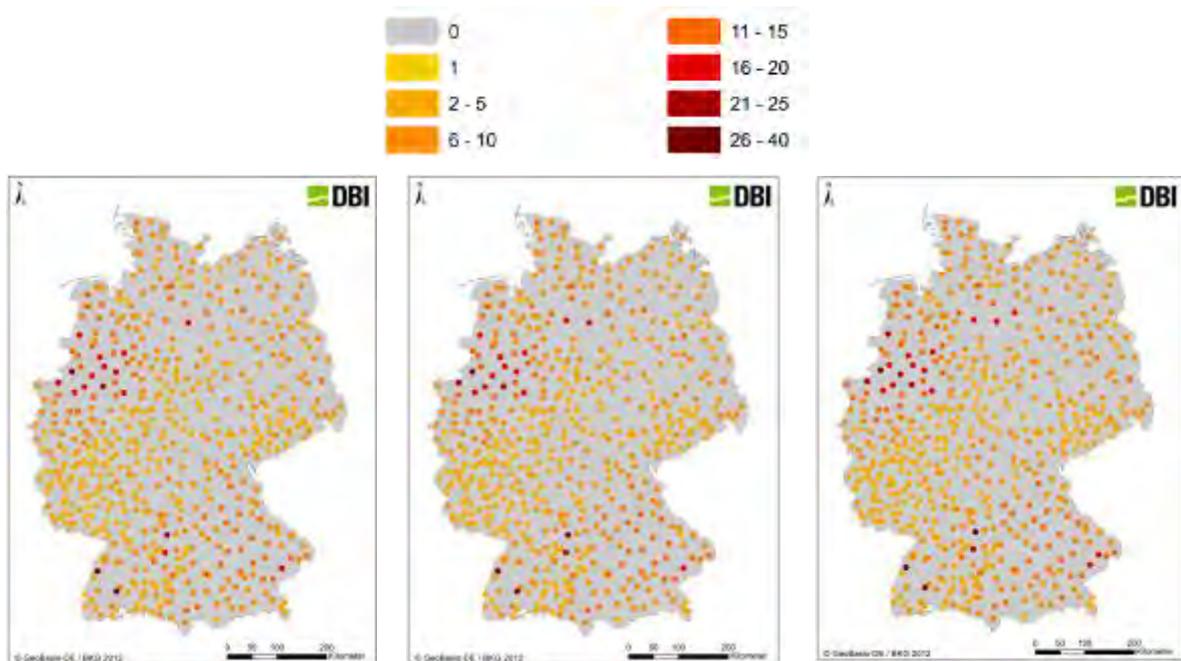


Abbildung 103: Theoretisches Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an sonstigen Straßen in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.3.6 Summenpotenzial Kommune

In Abbildung 104 ist das theoretische, technische und wirtschaftliche Summenpotenzial aus allen betrachteten kommunalen Einsatzstoffen abgebildet. Da Abfälle der Biotonne, Grünschnitt, Restmüll und Speisereste auf den jeweiligen gleichen Ort bezogen werden, sind keine Differenzierungen erkennbar. Die flächenhafte Verteilung resultiert aus dem Potenzial der Supermarktreste. Speziell dieses Potenzial ist verhältnismäßig gering aber über große Teile Deutschlands verfügbar. Dies ist das Resultat der Berücksichtigung eines Transportradius. Lücken entstehen aufgrund dünn besiedelter Gebiete in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Die Zentren hohen Potenzials sind vor allem in den dicht besiedelten Regionen wie dem Ruhrgebiet, Berlin und Hamburg zu sehen.

Das deutschlandweite theoretische Biomethanpotenzial beträgt 1.150 Mio. Nm^3 Biomethan pro Jahr bzw. 41 PJ pro Jahr, das technische Potenzial 688 Mio. Nm^3 Biomethan pro Jahr bzw. 25 PJ pro Jahr und das wirtschaftliche 677 Mio. Nm^3 Biomethan pro Jahr bzw. 24 PJ pro Jahr. Aufgrund geringer wirtschaftlicher Abzüge unterscheiden sich wirtschaftliches dem technischen Potenzial nur gering.

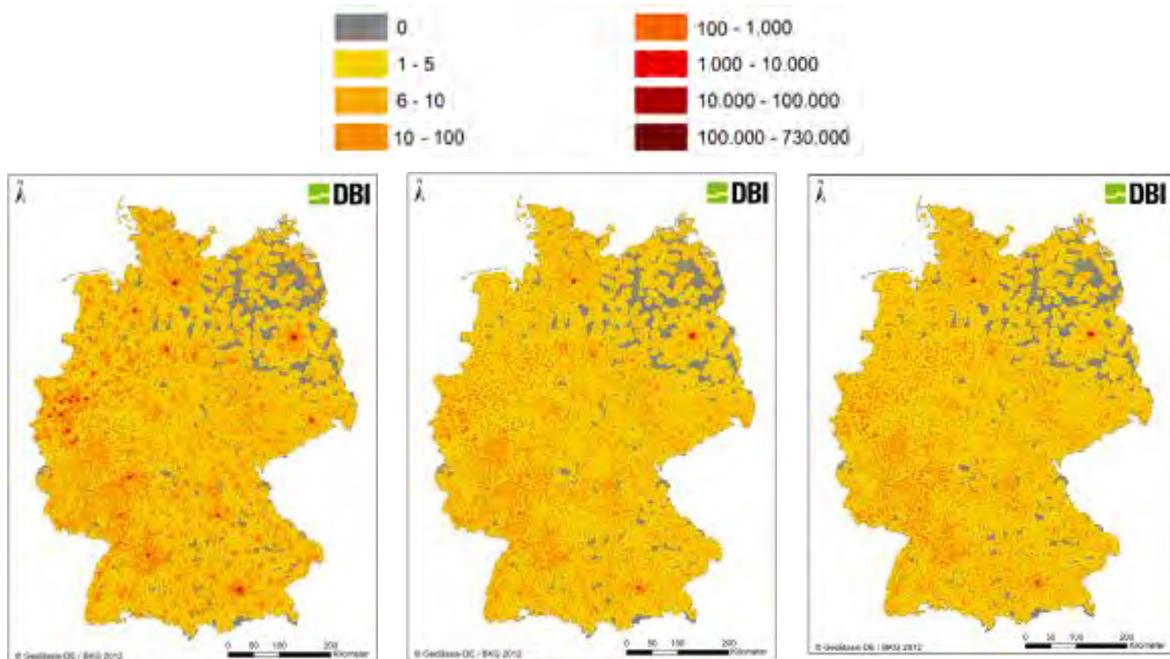


Abbildung 104: Theoretisches (links), technisches (Mitte) und wirtschaftliches (rechts) Summenpotenzial kommunaler Einsatzstoffe in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$

6.3.7 Summenpotenzial Kommune Prognose

Abbildung 105 zeigt das theoretische Summenpotenzial aus allen betrachteten kommunalen Einsatzstoffen für die Jahre 2015, 2020 und 2030. Das technische und wirtschaftliche Summenpotenzial ist im Anhang zu finden.

Die Steigerung des theoretischen Summenpotenzials bis 2030 im Vergleich zum jetzigen Zeitpunkt beträgt ca. 4 %. Diese geringe Änderung ist grafisch nur in Einzelfällen erkennbar. Auch zukünftig konzentriert sich das Vorkommen kommunaler Reststoffe in den Städten und Gemeinden. Dadurch liegt in Ballungsräumen wie dem Ruhrgebiet ein höheres Potenzial kommunaler Reststoffe vor als in weniger dicht besiedelten Gebieten. Eine Potenzialabsenkung von 2015 bis zum Jahr 2020 liegt in einem hohen Rückgang des Restmüllaufkommens begründet. Dieser fällt im Vergleich zum technischen Potenzial weniger stark für das theoretische aus. Die Ursache hierfür liegt in der Berechnungsmethode mit Unterscheidung, ob eine Biotonne vorhanden ist oder nicht. So können beispielsweise ca. 20 % des anfallenden organischen Materials im Restmüll technisch genutzt werden, wenn ergänzend eine Biotonne zur Verfügung steht. Ist dies nicht der Fall steigt der technisch nutzbare Anteil auf etwa 45 % (s. Kapitel 6.3.3). Der Rückgang an Restmüll wird nicht vollständig durch die Steigerung von Abfällen der Biotonne kompensiert, da gleichzeitig die Bevölkerungszahl rückläufig ist. Die Verringerung des Restmülls ist über die Jahre nicht linear, sondern flacht zunehmend ab. Tabelle 50 fasst die prognostizierten Biomethanpotenziale der kommunalen Einsatzstoffe zusammen.

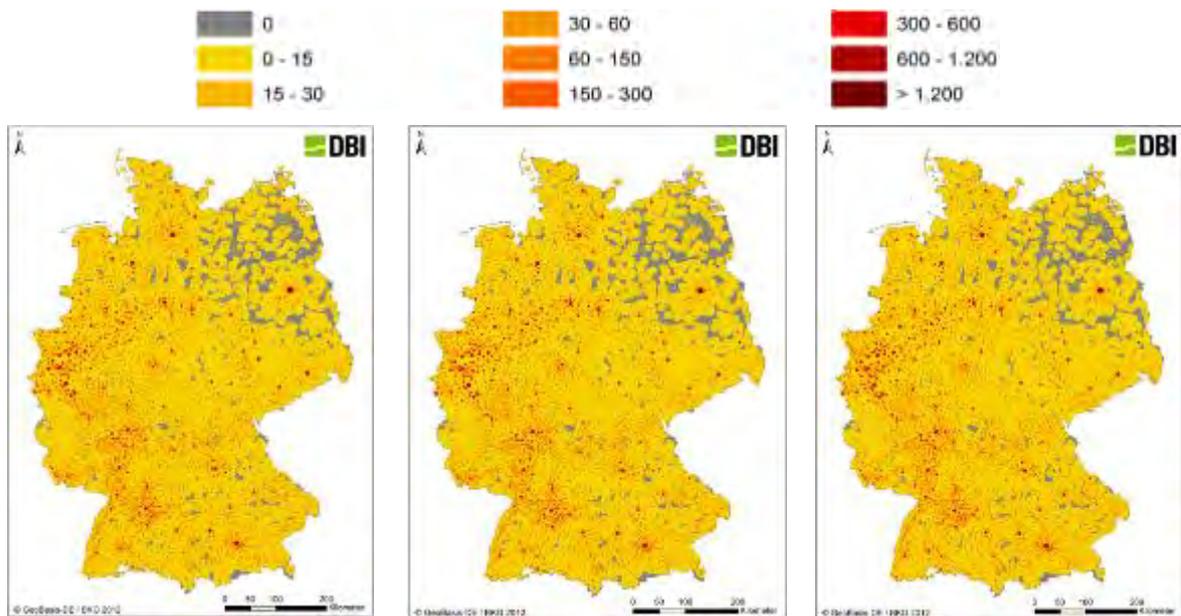


Abbildung 105: Theoretisches Summenpotenzial kommunaler Reststoffe in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

Tabelle 50: Zukünftige Biomethanpotenziale kommunaler Substrate in $\text{Mio. Nm}^3 \text{ Bio-methan pro Jahre}$

Kom-mune	2015			2020			2030		
	theoret.	techn.	wirt.	theoret.	techn.	wirt.	theoret.	techn.	wirt.
	1.175	721	709	1.177	718	705	1.194	744	730

6.4 Industrielles Biogaspotenzial

Die Vielfalt an industriellen Reststoffen, die zur Vergärung in Biogasanlagen in Frage kommen, ist sehr groß. Die in vorliegender Studie betrachteten Substrate sind in Abbildung 106 dargestellt und werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

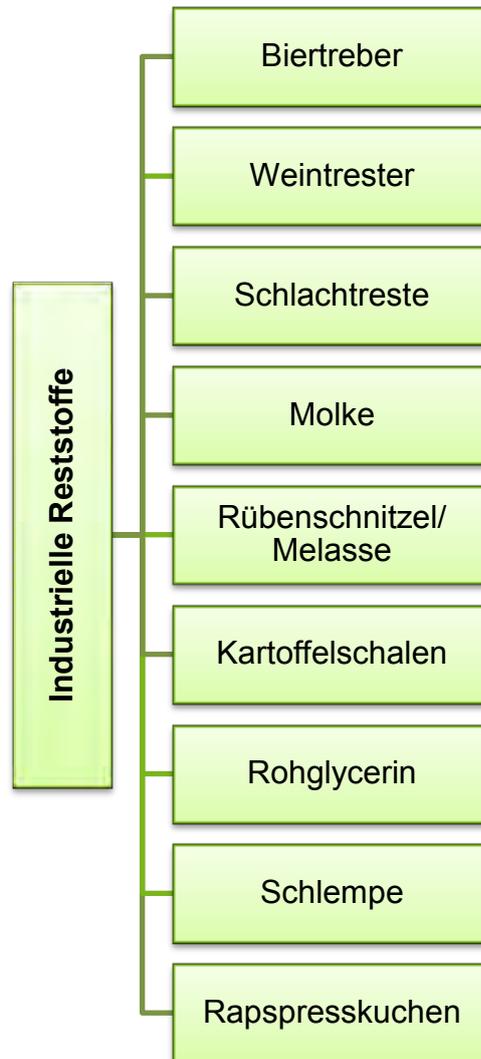


Abbildung 106: Betrachtete industrielle Reststoffe zur Erzeugung von Biogas

Biertreber ist ein vergärbarer Reststoff, der beim Brauvorgang während der Bierproduktion anfällt. Ähnlich diesem Substrat ist der Weintrester – ein Nebenprodukt bei der Weinproduktion. Ein weiterer Industriezweig, bei dem Substrate für die Biogaserzeugung anfallen, ist die Zuckerproduktion. Dabei können neben Rübenschnitzeln auch die sirupartige Melasse Verwendung finden. Der Reststoff Schlempe aus der Bioethanolproduktion kann ebenso in Biogasanlagen eingesetzt werden. Zu den vergärbaren industriellen Reststoffen zählt weiterhin das Rohglycerin, das bei der Biodieselerstellung entsteht. Die zur Käseherstellung genutzte Milch wird auch betrachtet, da die anfallende Molke ebenfalls ein interessantes Biogasanlagensubstrat darstellt. Zudem werden Kartoffelschalen aus der kartoffelverarbeitenden Industrie bzw. aus der Stärkeproduktion berücksichtigt.

Während der Rapsölproduktion fällt Rapspresskuchen an. Dieses Substrat wird ebenfalls in die Potenzialuntersuchungen einbezogen. Des Weiteren sind Schlachtreste, die in fleischverarbeitenden Betrieben anfallen, ein sinnvolles Biogasanlagensubstrat.

Die vorliegenden Prognosen jedes Substrats dienen einer Abschätzung der zukünftigen Entwicklungen der Aufkommen von industriellen Reststoffen für die Jahre 2015, 2020 und 2030. In erster Linie sind die Aussagen auf Studien und Branchenaussagen bzw. -prognosen der jeweiligen Fachverbände gestützt. Bei eigenen Berechnungen erfolgte eine Koppelung der Zahlen an die demographische Entwicklung in Deutschland (Bevölkerungsrückgang gemäß [STB 2011f]). Einflüsse durch Importe und Exporte der betrachteten Produkte werden nicht berücksichtigt, da diesbezüglich keinerlei Vorhersage möglich ist.

Alle Vorhersagen repräsentieren die Entwicklung allgemein für Gesamtdeutschland. Aussagen für bestimmte Regionen sind daher nur durch Berechnung des bundesweiten Trends auf den kleineren Maßstab adaptierbar.

In Tabelle 51 sind überblicksartig die wesentlichen Einflussgrößen zu den Prognosen je Reststoff aufgeführt.

Tabelle 51: Übersicht zu Einflussgrößen der Prognosen je Reststoff

Reststoff	Einflussgröße 1	Einflussgröße 2	Einflussgröße 3
Treber	Entwicklung Bierproduktion	Pro-Kopf-Verbrauch	Prognose Bevölkerungszahl
Molke	Entwicklung Milchkuhbestand	Prognose Milchleistung	–
Schlachtabfälle	Entwicklung Tierbestände	Fleischverzehr Je Einwohner	Bewertung Branche
Weintrester	Entwicklung Weinanbaufläche	Entwicklung Weinproduktion	–
Rübenschnitzel, Melasse	Pro-Kopf-Verbrauch	Prognose Bevölkerungszahl	–
Kartoffelschalen	Prognose Bevölkerungszahl	–	–
Rapspresskuchen	Entwicklung Rapsverarbeitung	Bewertung Branche	–
Rohglycerin	Prognose Kraftstoffverbrauch	Gesetzliche Quotenregelung	–
Schlempe	Prognose Kraftstoffverbrauch	Gesetzliche Quotenregelung	–

6.4.1 Bierproduktion

In Deutschland gibt es derzeit ca. 1.300 Brauereien. Dazu zählen sowohl Großbrauereien als auch kleine, private Brauereien [DBB 2010]. Die gesamtdeutsche Produktion lag in den Jahren 2007 und 2010 zwischen 98,4 und 102,1 Mio. hl [STB 2012a], [DBB 2010]. Die 58 Großbrauereien sind standortgenau erfasst worden und weisen eine Kapazität von 60,3 Mio. hl auf, was einem Anteil von ca.

60 % der Gesamtproduktionsmenge entspricht. Die Differenz zu der Gesamtjahreproduktion an Bier wird auf Bundeslandebene betrachtet, da die Standorte hierzu nicht exakt bekannt sind.

Beim Brauen fallen verschiedene Rückstände wie z.B. Kühl- und Heißtrub, Kieselgurschlamm oder Malzstaub an. Den größten Anteil bildet jedoch der Biertreber, welcher teilweise als Futtermittel eingesetzt oder im häufigsten Fall entsorgt wird [SCHOLWIN 2007].

Anhand der Produktionsdaten kann der anfallende Reststoff (Biertreber) ermittelt werden. Unter Verwendung des spezifischen Methangasertrages pro Tonne Biertreber (nach [BMU 2012a]) ergibt sich das *theoretische Potenzial* jeder der betrachteten Brauereien. Das theoretische Potenzial für Deutschland entspricht in Summe ca. 157 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 5,6 PJ pro Jahr.

Unter Beachtung von Lagerverlusten (2 %), Entnahmeverlusten (1 %) und produktionsbedingten Verlusten, wie Verlusten durch Reinigung etc., (5 %) ergibt sich das *technische Potenzial* der einzelnen Standorte. In Summe entspricht dies einem technischen Potenzial von 145 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 5,2 PJ pro Jahr.

Nach [NENTWIG 2012] ist ein Substrat nur dann wirtschaftlich sinnvoll vergärbar, wenn dessen oTS-Gehalt (Gehalt an organischer Trockensubstanz) über 10 % liegt. Eine Aufkonzentration des Biertrebers ist somit nicht nötig, da dieses Substrat mit 16,8 % oTS [FNR 2010] über dem Mindestgehalt von 10 % oTS liegt. Der Substratpreis liegt bei 11,50 €/t FM [IE 2004]. Somit ist Biertreber für eine Verwendung in Biogasanlagen wirtschaftlich. Der maximale Transportradius für Biertreber beträgt bis zu 8,63 km. Das *wirtschaftliche Potenzial* beträgt 117 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 4,2 PJ pro Jahr.

In Tabelle 52 ist die regionale Verteilung der Brauereien in Deutschland im Jahr 2007 dargestellt (nach [DBB 2010]). Zudem ist das theoretische, technische und wirtschaftliche Potenzial nach der oben beschriebenen Methodik angegeben.

Tabelle 52: Regionale Verteilung der Brauereien und jeweilige Produktionsmenge [DBB 2010]

Bundesland	Produktionsmenge in 1.000 hl	Anzahl Betriebsstätten	Potenzial in Mio. Nm ³ CH ₄ /a		
			theor.	techn.	wirtsch.
Baden-Württemberg	7.386	182	11,3	10,4	8,4
Bayern	23.600	629	37,0	34,2	26,9
Berlin/Brandenburg	3.014	38	4,6	4,2	3,4
Hessen	3.461	69	5,3	5,0	4,0
Mecklenburg-Vorpommern	3.215	21	4,9	4,5	3,7
Niedersachsen/Bremen	12.263	55	18,7	17,2	14,0
Nordrhein-Westfalen	22.912	116	34,9	32,2	26,1
Rheinland-Pfalz/Saarland	7.579	56	11,6	10,7	8,7
Sachsen	8.660	58	13,2	12,2	9,9
Sachsen-Anhalt	2.822	24	4,3	4,0	3,2
Schleswig-Holstein/Hamburg	3.048	15	4,7	4,3	3,5
Thüringen	4.201	43	6,4	5,9	4,8
Deutschland, gesamt	<i>102.161</i>	<i>1.306</i>	<i>157</i>	<i>145</i>	<i>117</i>

Die hohe Anzahl der Betriebstätten in Bayern ist auf die große Anzahl an Privatbrauereien zurückzuführen. Diese erzeugen jedoch nur verhältnismäßig geringe Mengen an Bier. Zum Vergleich: In Nordrhein-Westfalen ist das Gesamtpotenzial ähnlich dem von Bayern, jedoch ist die Anzahl der Betriebsstätten wesentlich geringer.

Die Produktionsmengen konnten für die Großbrauereien standortgenau ermittelt werden, nicht jedoch für die kleineren Brauereien. Bei letzteren lagen ausschließlich Bundeslanddaten vor. Dies führt bei einer GIS-gestützten, deutschlandweiten Auswertung dazu, dass sich je nach dem Verhältnis von Groß- und Kleinbrauereien pro Bundesland nachfolgendes Bild ergibt.

In Nordrhein-Westfalen beispielsweise wird zum überwiegenden Teil in Großbrauereien Bier erzeugt (standortgenaue Daten). Die produzierte Menge der kleineren Brauereien ist hingegen gering. Die resultierende Restmenge pro Bundesland ist dadurch geringer. Anders sieht es in Bayern aus, wo ein hoher Anteil an Kleinbrauereien vorhanden ist, welche jedoch nicht standortgenau zugeordnet werden können. Die resultierende Restmenge pro Bundesland ist deshalb deutlich höher.

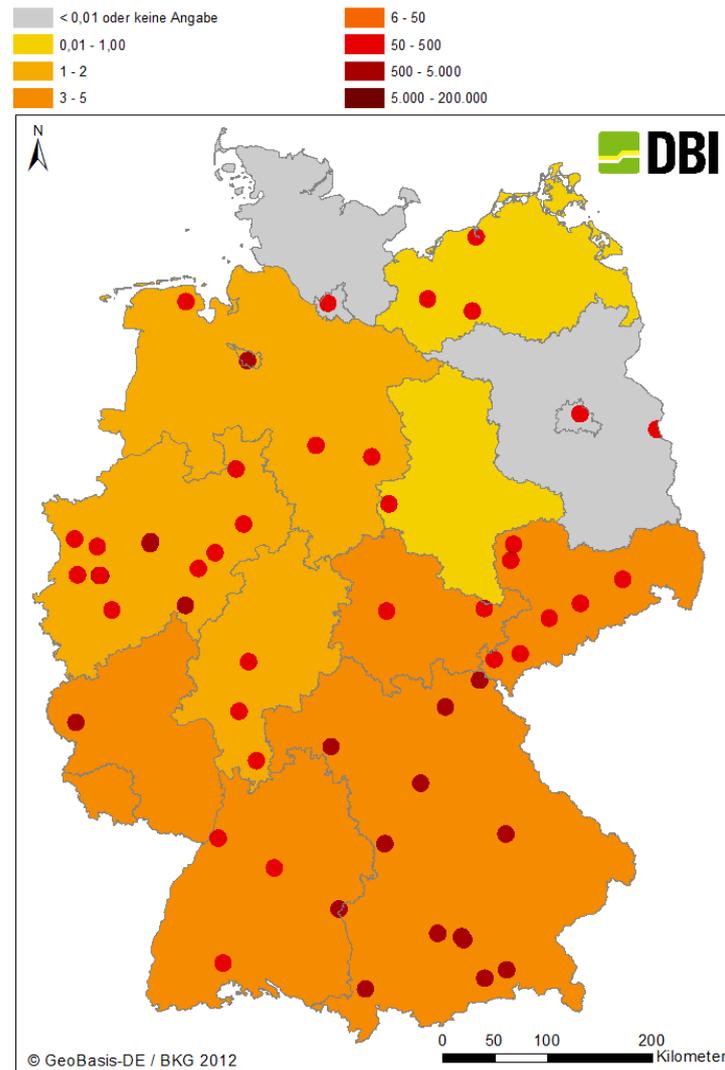


Abbildung 107: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Biertreber in Nm³ CH₄/ha

Der Vergleich der ermittelten technischen Potenziale mit denen anderer Studien zeigt deutliche Übereinstimmungen (vgl. [BMU 2004a]). Als Grundlage hierfür dienen jeweils Daten des Statistischen Bundesamtes für den Bierausstoß in Deutschland.

In folgender Abbildung sind die technischen Potenziale zweier Referenzstudien und das theoretische und technische (dunkelgrün abgesetzt) Potenzial des DVGW-Biogasatlas dargestellt. Das technische Potenzial zeigt eine Spanne von 47,5 bis 83,8 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 1,7 bis 3,0 PJ pro Jahr in den verschiedenen Studien auf. Dabei liefern die im DVGW-Biogasatlas untersuchten Punktdaten, welche mit den bundesdeutschen Daten verrechnet wurden, den genauesten Wert, da hier die vorhandenen Punktdaten mit bundesdeutschen, öffentlichen Flächendaten (Bundeslanddaten) verrechnet wurden und demnach die bundesdeutsche Bierproduktionsrate beachtet wurde.

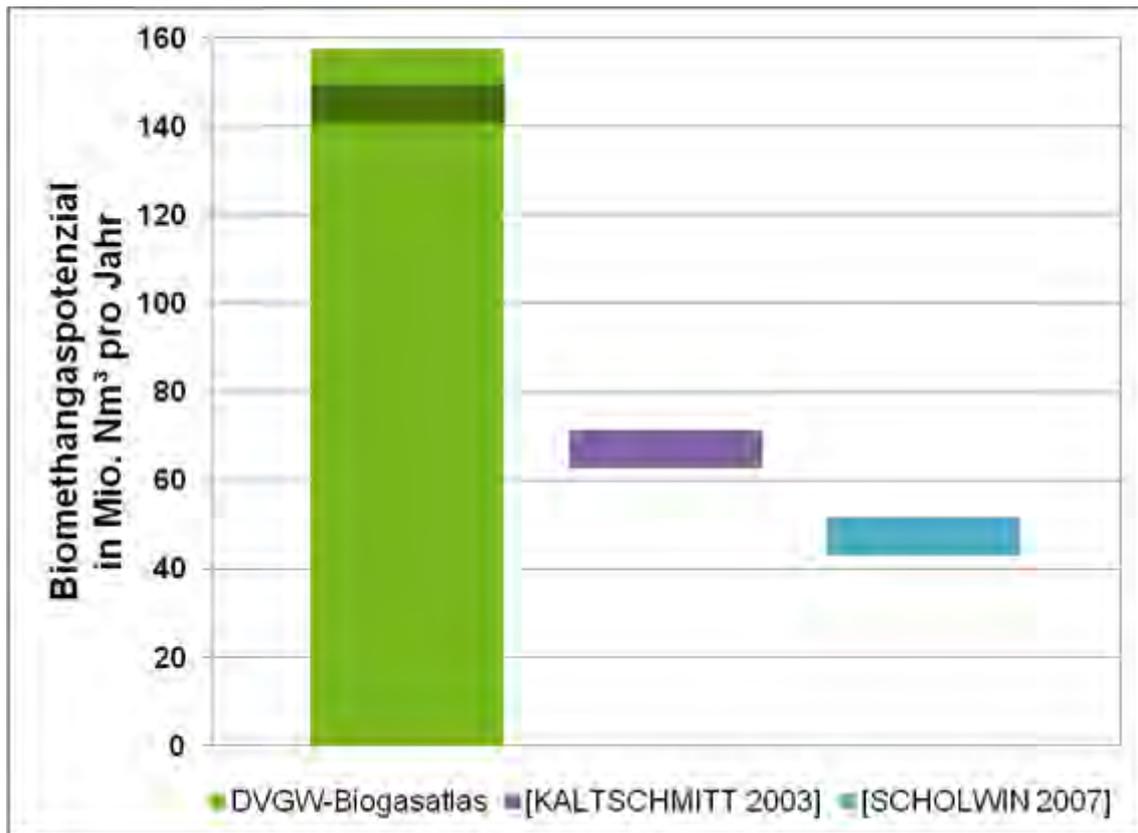


Abbildung 108: Biomethangaspotenzial aus Biertreber im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Bierproduktion

Die Entwicklung der Bierproduktion in Deutschland zeigt klare Tendenzen. Ab 1960 ist ein deutlicher Zuwachs des Bierausstoßes feststellbar. Der steile Anstieg nach 1989 kommt durch die Wiedervereinigung Deutschlands zustande. Ab diesem Zeitpunkt wird der Bierausstoß der neuen Bundesländer zu dem der alten Bundesländer gezählt. Seit 1992 ist allerdings eine stetige, rückläufige Entwicklung des Bierausstoßes zu beobachten [DBB 2011]. Dies spiegelt sich auch im jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch wider, dargestellt in Tabelle 53. Der Rückgang beträgt hierbei durchschnittlich 1,64 %. In Zukunft wird die Bevölkerung stärker zurückgehen als bisher, weshalb der Gesamtverbrauch voraussichtlich weiter sinken wird.

Tabelle 53: **Bierverbrauch pro Kopf und Jahr in Deutschland [DBB 2011]**

Jahr	Pro-Kopf-Verbrauch in l/(EW*a)	Gesamtverbrauch in Tsd. hl
1960	94,7	52.633
1970	141,1	85.603
1980	145,9	89.820
1990	142,7	98.283
1992	142,0	114.424
1994	138,0	112.386
1996	131,9	108.036
1998	127,5	104.600
2000	125,6	103.309
2002	121,9	100.622
2004	116,0	95.682
2006	116,0	95.492
2008	111,1	91.132
2010	107,4	87.872

Die Folge davon ist, dass für Biertreber das Biogaspotenzial voraussichtlich stetig absinken wird. In Korrelation von Bevölkerungsrückgang und sinkendem spezifischen Verbrauch ergibt sich eigenen Berechnungen zufolge im Jahr 2015 eine Bierproduktionsmenge von rund 87,3 Mio. hl. 2020 sind es 79,5 Mio. hl und 2030 werden noch 65,2 Mio. hl Bier erwartet. Demnach entspricht das Potenzial des Biertrebers im Jahr 2030 nur noch ca. 2/3 dem Potenzial von 2011 (vgl. Abbildung 109).

Für die Regionalisierung dieser Entwicklung wird die gesamtdeutsche Bierproduktion auf die Brauereien standortbezogen und auf Bundeslandebene prozentual aufgeteilt. Dabei bleibt in beiden Fällen die derzeitige Verteilung verhältnismäßig erhalten. Der allgemeine Rückgang ist insbesondere im süddeutschen Raum, aber auch für die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Thüringen gut zu erkennen.

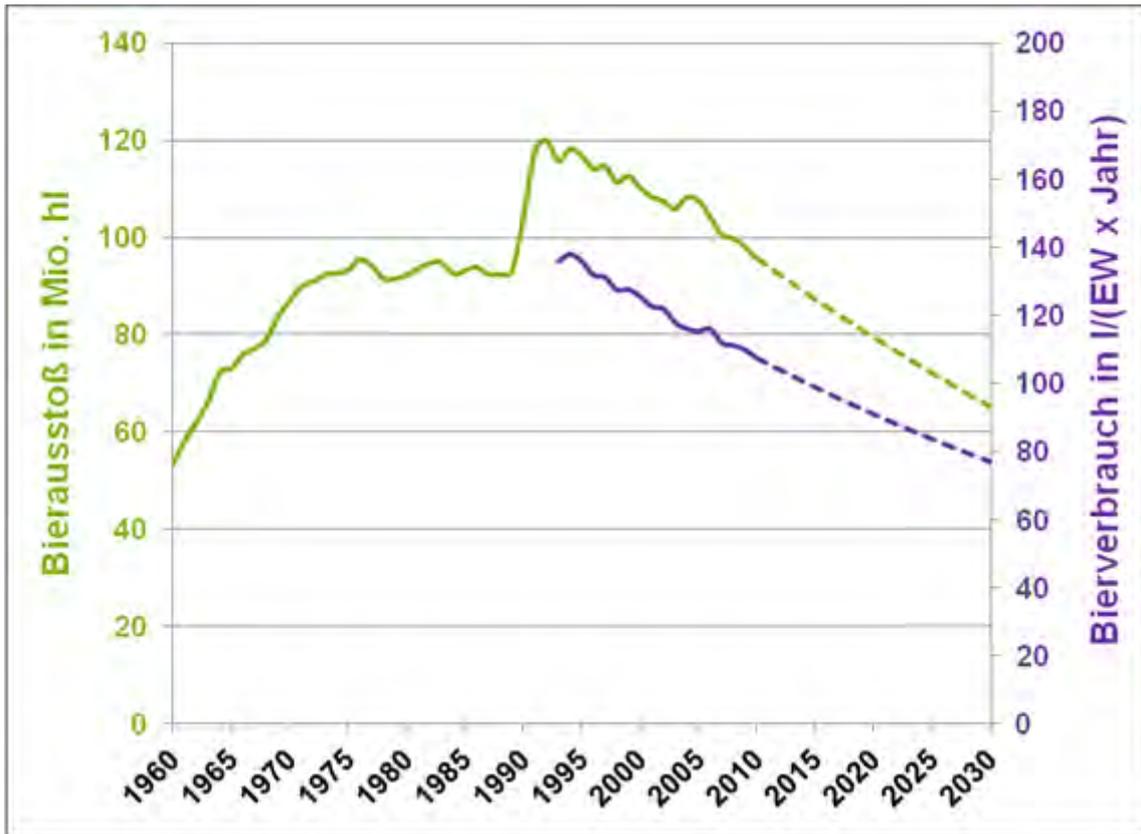


Abbildung 109: Entwicklung des Bierausstoßes in Vergangenheit und Zukunft

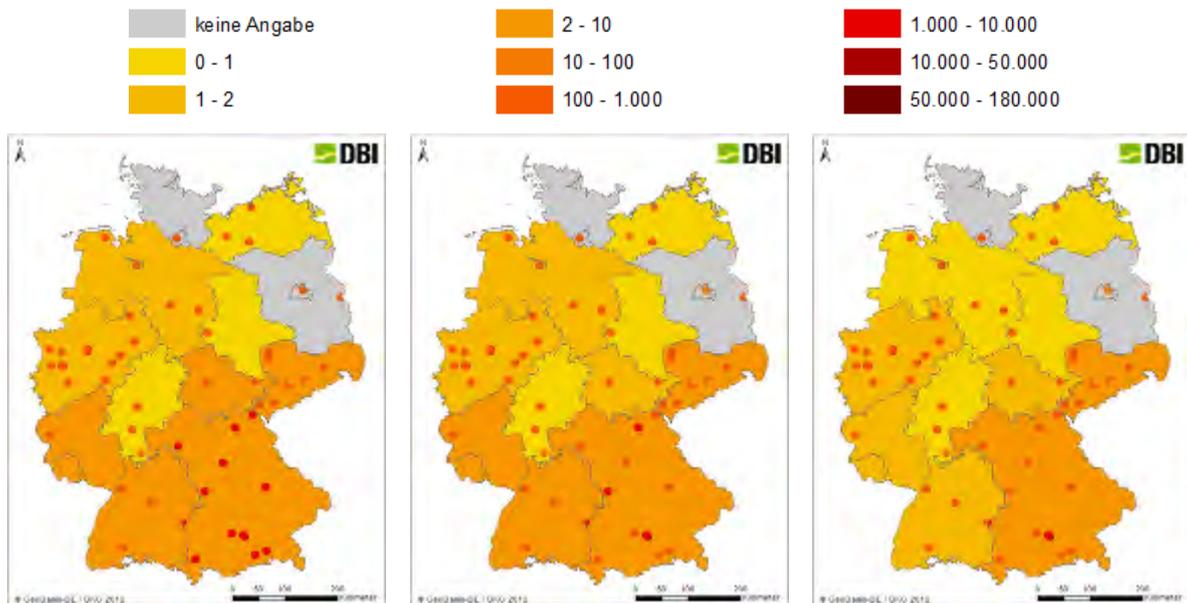


Abbildung 110: Theoretisches Biomethanpotenzial von Biertreber in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.2 Weinproduktion

In Deutschland existieren ca. 20.000 Weingüter, die auf einer Fläche von rund 99.700 Hektar Reben für die Wein- und Mostherstellung anbauen [STB 2010a], [BMELV 2012a]. Im Jahr 2011 wurden aus den Ernteerträgen in Deutschland rund 9,26 Mio. hl Wein und Most hergestellt. Von den größten 363 Weingütern und Winzergenossenschaften liegen standortgenaue Daten vor. Diese Weingüter bewirtschaften eine Fläche von ca. 37.800 ha, auf denen rund 3,25 Mio. hl Wein und Most hergestellt werden. Der Anteil standortgenauer Weindaten liegt somit bei 35 % der gesamtdeutschen Produktion. Die restlichen Daten werden mit Hilfe von Weinbergflächen ermittelt.

Bei der Kelterung bzw. Pressung der Weinlese fallen pflanzliche Reststoffe in Form von Trester an. Dieser besteht vornehmlich aus Kernen, Stielen, Rappen und Beerenhülsen und wird derzeit für die Herstellung von Tresterbrand sowie als Dünge- und Futtermittel verwendet [SCHOLWIN 2007].

Aus dem Hektoliter-Ausstoß an Wein jedes betrachteten Weingutes und jeder Winzergenossenschaft verrechnet mit den Resterträgen auf Gemeindeebene ergibt sich der Anfall an Trester (25 kg/hl, vgl. [SCHOLWIN 2007]), welcher mit Hilfe des spezifischen Methangasertrages von $49 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ (nach [BMU 2012a]) ein *theoretisches Potenzial* von 11,4 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 0,41 PJ pro Jahr ergibt. Unter Abzug von Lager-, Entnahme- und Reinigungsverlusten ergibt sich ein *technisches Potenzial* von ca. 10,5 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 0,38 PJ pro Jahr.

Weintrester weist einen oTS-Gehalt von knapp 40 % auf [FNR 2010]. Dieses Substrat muss demnach nicht konzentriert werden, um in Biogasanlagen eingesetzt zu werden. Unter weiterer Berücksichtigung von Marktpreis (7,14 €/t Substrat nach [JAGD 2011]) und Methangasertrag wird das *wirtschaftliche Potenzial* zur Vergärung von Rebentrester an jedem Standort ermittelt. Es beträgt ca. 8,9 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 0,32 PJ pro Jahr.

Die regionale Verteilung der Rebflächen, Erträge und Erntemenge für das Jahr 2011 ist in der folgenden Tabelle 54 zu finden (nach [BMELV 2012a]), ebenso wie das theoretische, technische und wirtschaftliche Potenzial.

Tabelle 54: Rebflächen, Ertrag und Erntemenge der einzelnen Bundesländer in 2011 [BMELV 2012a]

Bundesland	Rebfläche in ha	Ertrag in hl/ha	Erntemenge in 1.000 hl	Potenzial in Mio. Nm ³ CH ₄ /a		
				theor.	techn.	wirtsch.
Baden-Württemberg	14.734	89,1	2.370	2,91	2,68	2,28
Bayern	1.190	61,7	370	0,46	0,42	0,36
Brandenburg	9	32,8	0,6	0,00	0,00	0,00
Hessen	545	74,3	260	0,32	0,29	0,25
Mecklenburg-Vorpommern	2	11,2	0	0,00	0,00	0,00
Nordrhein-Westfalen	3	109,4	2,2	0,00	0,00	0,00
Rheinland-Pfalz	19.220	98,9	6.160	7,55	6,96	5,92
Saarland	11	101,5	10	0,01	0,01	0,01
Sachsen	81	54,4	23	0,03	0,03	0,03
Sachsen-Anhalt/ Thüringen	192	75,7	56	0,07	0,06	0,05
Deutschland, gesamt	9.9747	92,8	9.260	11,4	10,5	8,9

Der Weinbau beschränkt sich in Deutschland vor allem auf 13 Anbaugebiete (vgl. [STB 2010b], [STB 2010c]). Zu den größten Weinanbaugebieten Deutschlands zählen Rheinhessen, Pfalz, Baden, Württemberg sowie die Mosel. In diesen Regionen, v.a. in den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg (vgl. Tabelle 54), ist der Anfall an Tester entsprechend hoch. Die Anbaugebiete und Potenziale sind in Abbildung 111 nachzuvollziehen, welche das theoretische Biogaspotenzial aus Weintrester zeigt.

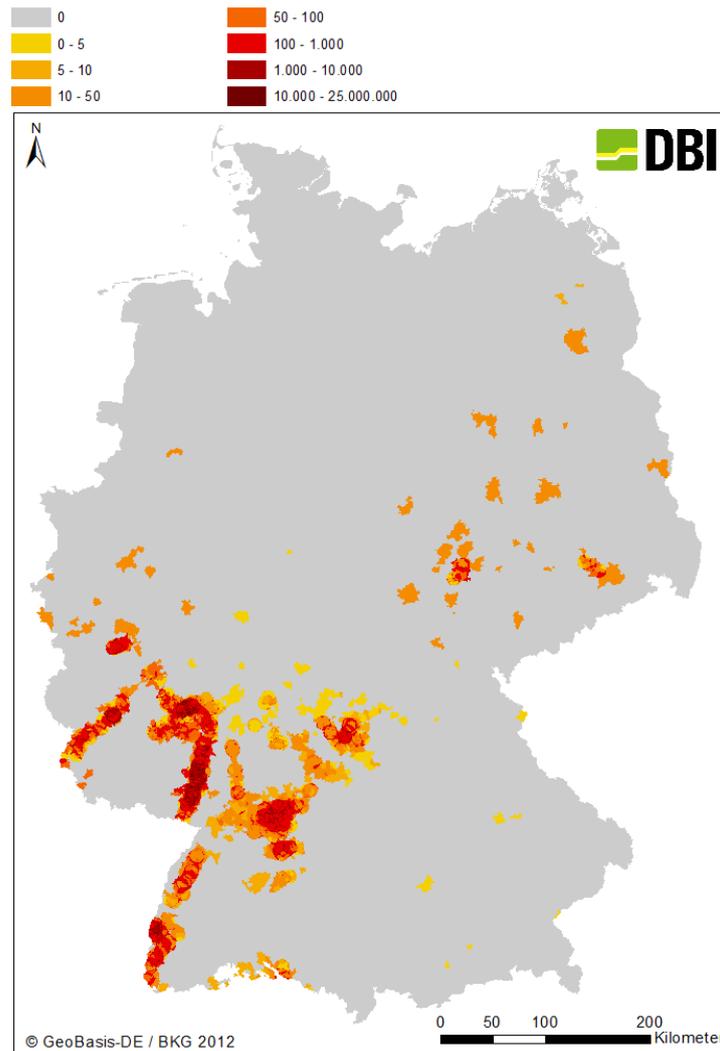


Abbildung 111: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Weintrester in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$

Ein Vergleich zu bereits veröffentlichten Studien zeigt eine Spannweite des technischen Potenzials von 3,3 bis 6,7 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 0,12 bis 0,24 PJ pro Jahr für die Biogaserzeugung aus Weintrester [KALTSCHMITT 2003], [BMU 2008], [SCHOLWIN 2007]. Die im DVGW-Biogasatlas ermittelten 11,35 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 0,41 PJ pro Jahr liegen deutlich über den Angaben der Vergleichsstudien. Da hier neben den Standortdaten auch Weinanbauflächen eingeflossen sind, ist das Potenzial das genaueste. Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 112 das technische Potenzial der unterschiedlichen Studien dargestellt.

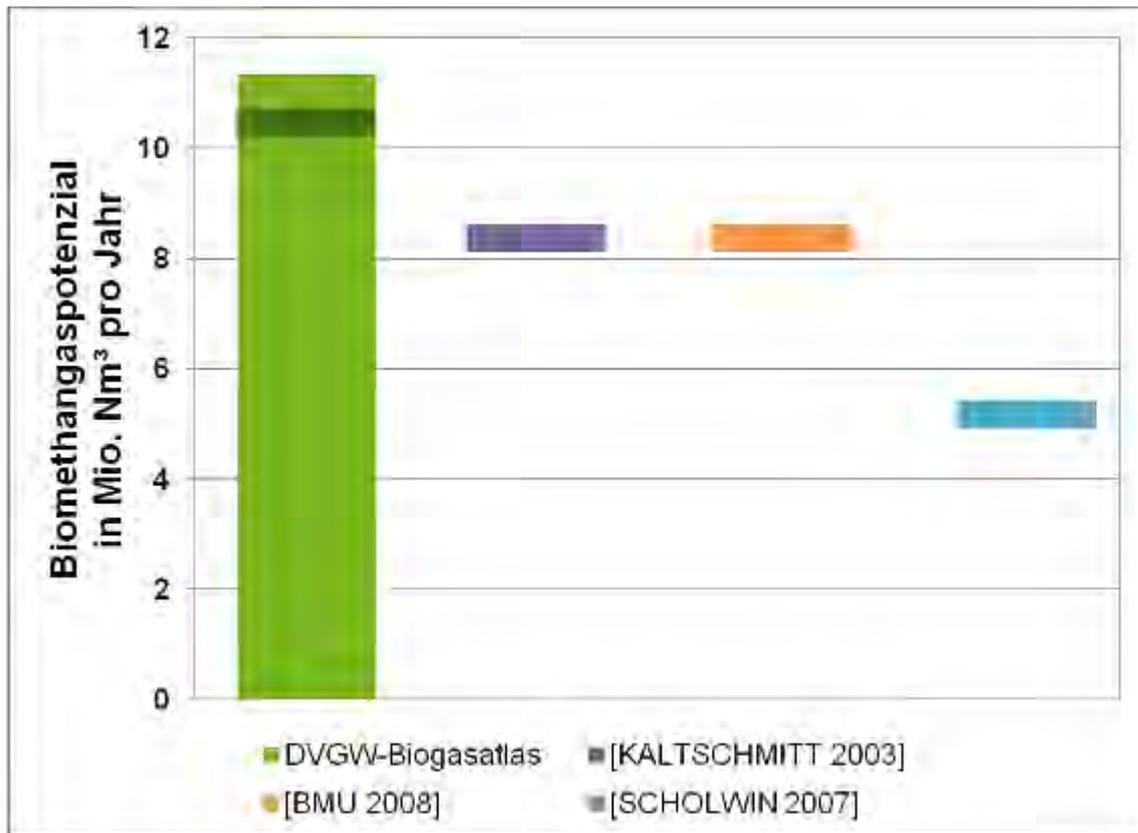


Abbildung 112: Biomethangaspotenzial aus Weintrester im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Weinproduktion

Die Weinproduktion verlief von 1990 bis 2008 relativ konstant. 2010 dagegen war ein außergewöhnlich schlechtes Erntejahr, in dem die Weinproduktion auf einen Tiefstwert gefallen ist. Neben der marktwirtschaftlichen Seite ist das Klima für die Weinproduktion entscheidend. Verregnete Sommer bzw. für den Weinanbau ungünstige Klima- und Standortfaktoren beeinflussen die Weinernte erheblich und können zu Ernteaufschlägen führen. Aufgrund des nicht unerheblichen Faktors des Klimas kann keine klare Prognose gegeben werden, wie viel Wein in den kommenden Jahren produziert wird. Weltweit ist dennoch eine steigende Nachfrage zu erwarten, der in Zukunft mit einer Produktionssteigerung begegnet werden wird [VINEXPO 2011].

Für Deutschland liegen keine Informationen vor, die Auskunft über die zukünftige Entwicklung der Anbauflächen geben. Möglich ist, dass bis 2030 wieder das Niveau von 1994 (größte Anbaufläche seit 1965 [WEIN 2011], vgl. Abbildung 113) erreicht wird. Daran bemessen und unter Annahme des durchschnittlichen Flächenertrags der letzten 50 Jahre könnte demzufolge eine Weinproduktion von etwa 10,1 Mio. hl (2015: 9,4 Mio. hl; 2020: 9,6 Mio. hl) erreicht werden.

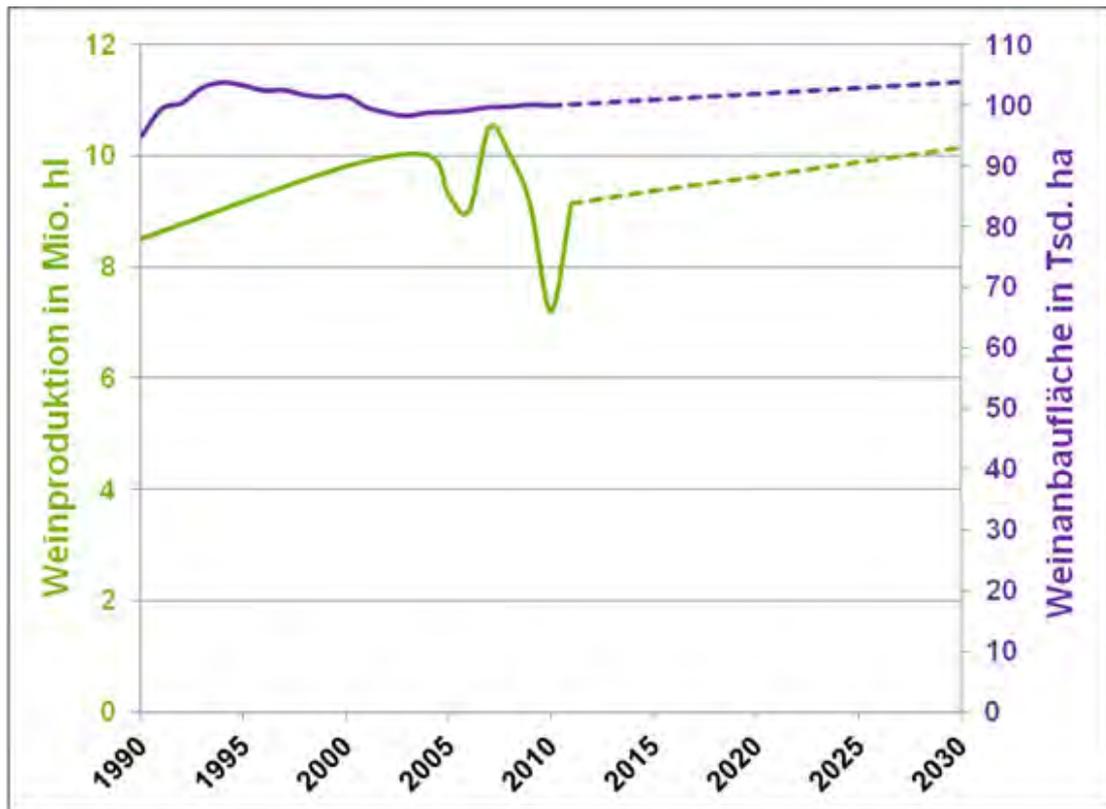


Abbildung 113: Entwicklung der Weinproduktion in Vergangenheit und Zukunft

Die Regionalisierung ist über die prozentuale Trendfortführung je Anbaufläche umgesetzt und zeigt somit den prognostizierten Zuwachs in Abbildung 114 (theoretisches Potenzial) auf. Alle Potenziale sind im Anhang, Abbildung 189, zu finden.

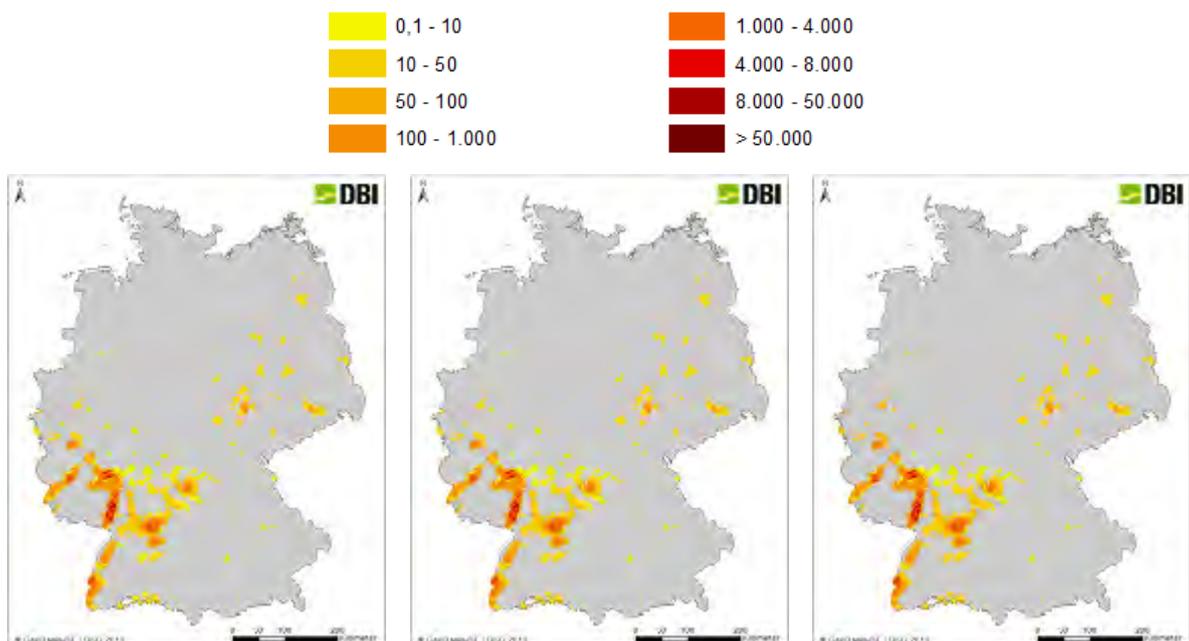


Abbildung 114: Theoretisches Biomethanpotenzial von Weintrester in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.3 Tierverarbeitung

In Deutschland wurden nach Angaben des Statistischen Bundesamtes in 2010 rund 58 Mio. Schweine, 3,5 Mio. Rinder/Kälber, 1 Mio. Schafe sowie 683 Mio. Hähnchen und Puten geschlachtet [STB 2012b], [STB 2012c]. Neben der Produktion von Fleisch fallen dabei auch Schlachtnebenerzeugnisse an, welche nicht für den Verzehr geeignet sind bzw. nicht verwendet werden. Eine energetische Nutzung von Schlachtnebenprodukten beispielsweise diverser Organe oder für den Lebensmittelbereich ungeeignetes Fleisch ist möglich, falls diese nicht der Risikoklassen Kategorie 1 oder 2 des Tierische-Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz [TierNebG] angehören. Nebenprodukte wie Flotatfette, Leber, Niere, Lunge, Pansen, Mägen, etc. und deren Inhalte können z.B. in Biogasanlagen eingesetzt werden.

Die Grundlage der Potenzialermittlung bilden standortgenaue Daten von 460 Schlachtbetrieben in Deutschland sowie deren Verarbeitungszahlen. Diese werden weiterhin durch Bundeslanddaten des Statistischen Bundesamtes ([STB 2012b], [STB 2012c]) ergänzt.

Ein Vergleich zwischen den genutzten standortgenauen Daten und den Bundeslanddaten zeigt, dass in der vorliegenden Potenzialstudie eine hohe standortgenaue Abdeckung für Schwein- und Rind-/Kalb-Schlachtbetriebe erreicht wird. Für die Tierarten Schaf/Lamm/Ziege und Hähnchen/Pute ist hingegen die standortgenaue Abdeckung geringer, jedoch sind die anfallenden Restmengen im Vergleich zu Schwein und Rind/Kalb deutlich niedriger, so dass schlussendlich die Gesamtauswirkungen gering sind. Ebenso sind nur wenige standortgenaue Angaben für Pferdeschlachtungen vorhanden, so dass auch hier nur eine bundeslandweite Betrachtung möglich ist. Ein Vergleich zeigt jedoch, dass der Anteil an Pferdeschlachtungen sehr gering ist.

Die Schlachtzahlen aller erfassten Betriebe sowie der prozentual erfasste standortgenaue Anteil der gesamtdeutschen Schlachtzahl sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 55: Schlachtzahlen der betrachteten Schlachtbetriebe in Stück

Schlachtzahlen	Schwein	Rind/Kalb	Schaf/Lamm /Ziege	Hähnchen/ Pute	Pferd
[STB 2012b], [STB 2012c] in 2010	59.474.920	3.721.770	1.091.840	655.735.720	11.430
Standortgenaue Schlachtzahlen	47.042.450	2.811.300	151.870	230.800.000	112
Anteil standort- genauer Daten	79,1 %	75,5 %	13,9 %	35,2 %	0,1 %

Mit Hilfe des Lebendgewichtes der einzelnen Kategorien (nach [KTBL LW 2009]), dem spezifischen Methangasertrag nach [ILE 2005] sowie den spezifischen Schlachtgewichten nach [PROVIANDE 2012] unter Abzug der in die Risikokatego-

rien fallenden Schlachtreste, kann das theoretische Potenzial jedes Schlachthofes ermittelt werden. Eine Übersicht zu den Lebend- und Schlachtgewichten ist in Tabelle 56 zu finden. Somit ergibt sich in Summe ein theoretisches Potenzial von 223 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 8,0 PJ pro Jahr.

Tabelle 56: Lebend- und Schlachtgewichte der betrachteten Tierkategorien nach [KTBL LW 2009] und [PROVIANDE 2012] in kg

Tierkategorie	Lebendgewicht	Schlachtgewicht	Schlachtabgang
Schwein/Sau	110	84,1	19,6
Schaf/Ziege	50	22,9	13,5
Lamm	25	11,4	6,7
Rind	600	304,2	223,2
Kalb	150	84,8	27,4
Hähnchen	1	0,7	0,3
Ferkel	20	15,3	3,6
Pferd	450	266,7	183,3
Pute	13	9,1	3,9

Das *technische Potenzial* berechnet sich unter Abzug von Lager-, Transport- und Entnahmeverlusten. In Deutschland ist unter diesen Abzügen mit einem Gesamtpotenzial von 206 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 7,4 PJ pro Jahr für die betrachteten Schlachthöfe zu rechnen.

Schlachtreste werden zurzeit in der Regel kostenfrei bzw. kostengünstig vom jeweiligen Schlachtbetrieb zur energetischen Verwertung abgegeben [PROBST 2012]. Die steigende Nachfrage kann jedoch in Zukunft zu steigenden Substratkosten führen. Das wirtschaftliche Potenzial entspricht derzeit dem technischen aufgrund der kostenfreien Abgabe. Der maximal wirtschaftliche Transportradius beträgt 12,4 km.

In der folgenden Tabelle 57 sind die regionalen Verteilungen der Schlachtzahlen, Schlachtreste sowie die dazugehörigen Biomethangaspotenziale dargestellt (berechnet nach [STB 2012d], [STB 2012e]). Die Standorte der Geflügelverarbeitung konnten nicht mit den Bundeslanddaten verrechnet werden, da diese ohne Geflügel angegeben werden. Sie werden separat als Punktdaten angenommen.

Tabelle 57: Regionale Verteilung der Schlachtreste und Biomethangaspotenziale

Bundesland	Anzahl Schlachtungen	Verwertbare Schlachtreste für Biogasanlagen in t	Potenzial in Mio. Nm ³ CH ₄ /a		
			theor.	techn.	wirtsch.
Baden-Württemberg	5.403.600	225.200	19,7	18,2	18,2
Bayern	6.576.900	300.700	26,3	24,3	24,3
Berlin	–	0	0,0	0,0	0,0
Brandenburg	1.819.800	38.000	3,3	3,1	3,1
Bremen	632.100	25.300	2,2	2,0	2,0
Hamburg	4.500	300	0,0	0,0	0,0
Hessen	1.050.500	214.400	1,9	1,7	1,7
Mecklenburg-Vorpommern	669.400	40.800	3,6	3,3	3,3
Niedersachsen	18.772.700	455.600	39,9	36,8	36,8
Nordrhein-Westfalen	20.942.900	536.400	47,0	43,3	43,3
Rheinland-Pfalz	1.267.700	42.600	3,7	3,4	3,4
Saarland	23.000	900	0,1	0,1	0,1
Sachsen	412.800	11.700	1,0	0,9	0,9
Sachsen-Anhalt	4.340.700	85.900	7,5	6,9	6,9
Schleswig-Holstein	1.378.300	89.700	7,9	7,2	7,2
Thüringen	1.764.400	53.500	4,7	4,3	4,3
Deutschland, gesamt	<i>65.059.200</i>	<i>2.120.900</i>	<i>169</i>	<i>156</i>	<i>156</i>
Deutschland, gesamt¹⁾	<i>720.794.900</i>	<i>2.455.000</i>	<i>223</i>	<i>205</i>	<i>205</i>

¹⁾ mit Geflügel nach [STB 2012e], Bundesländer jeweils ohne Geflügel

Wie aus nachfolgender Abbildung ersichtlich, sind die Biogaspotenziale für Schlachtreste vor allem in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Baden-Württemberg und Bayern sehr hoch. Da auch bei diesem Substrat die Unterschiede zwischen theoretischem, technischem und wirtschaftlichem Potenzial nur gering sind, wird lediglich das theoretische Potenzial dargestellt.

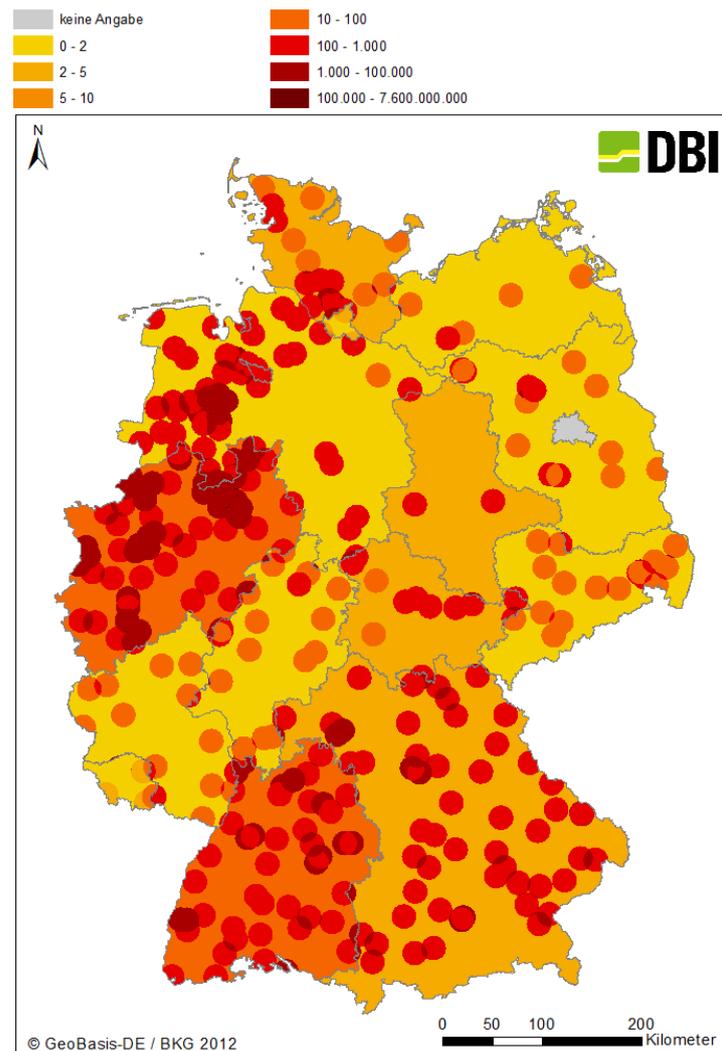


Abbildung 115: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Schlachtresten in Nm³ CH₄/ha

Ein Vergleich zu anderen Studien in Bezug auf das Biogaspotenzial ist aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweise und Datengrundlage nicht möglich (vgl. [KALTSCHMITT 2003], [SCHOLWIN 2007]).

Prognose Tierverarbeitung

Im Bereich der Tierverarbeitung sind verschiedene Trends, je nach Tierart, zu beobachten. Abbildung 116 zeigt hierfür die Entwicklung der Tierbestandszahlen ab 1950 auf. Sowohl Rinder als auch Schweine haben bis ca. 1985 einen Anstieg zu verzeichnen. Dagegen erfährt Geflügel nach 1970 einen Rückgang. Nach der deutschen Wiedervereinigung nahm die Anzahl der Schweine und Geflügel kontinuierlich zu. Der Rinderbestand sank hingegen.

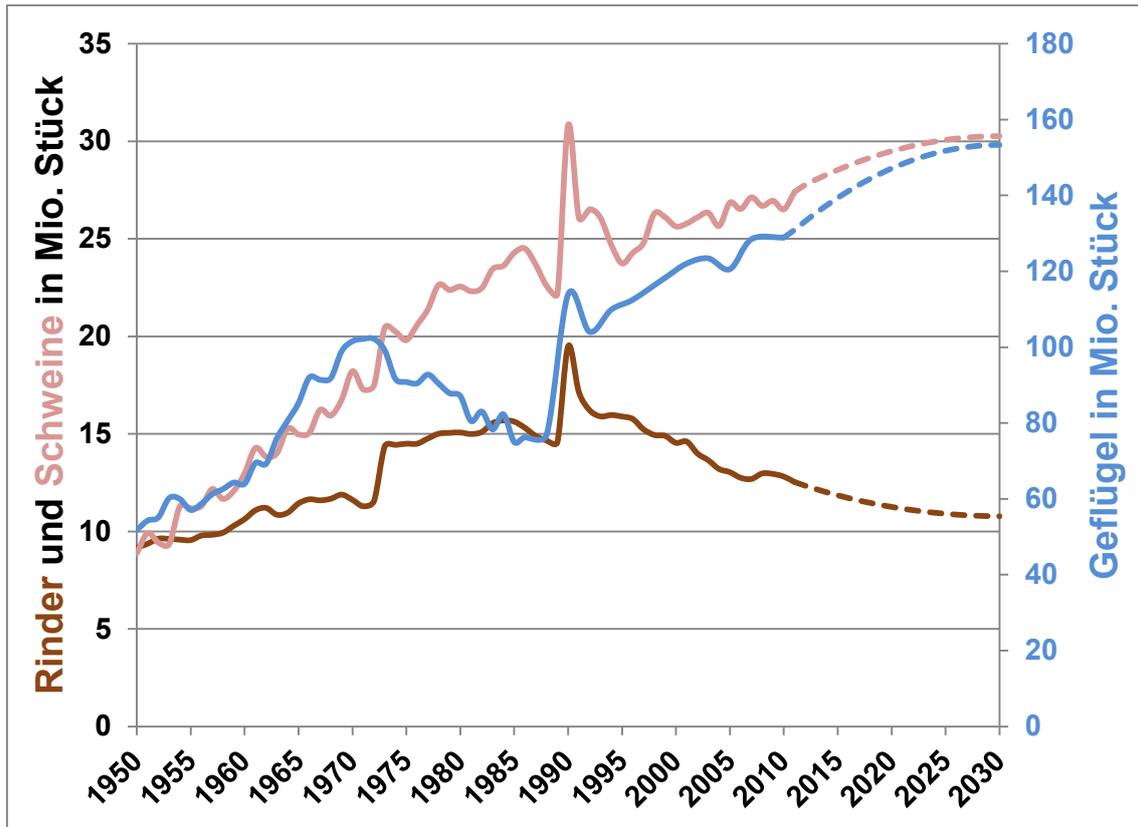


Abbildung 116: Entwicklung der Tierzahlen von 1950 bis 2011 und Prognose bis 2030

Die weiteren Entwicklungen der Tiergruppen wurden in Anlehnung an [ISPA 2006] bis 2030 abgeschätzt. Für Rinder wird dabei ein jährlicher Rückgang von bis zu 1,5 % prognostiziert. Der Abnahme der Rinderzahlen wird mittels einer Regression, welche gegen einen Grenzwert läuft, ermittelt. Bei Schweinen und Geflügel ist ein Fortgang des bisherigen Trends zu erwarten, wobei unterstellt wird, dass bis 2030 ein Maximalwert erreicht ist. Speziell die Schweinefleischproduktion konzentriert sich immer mehr auf bestehende Großunternehmen [ISPA 2006]. Eine Abschätzung für einzelne Betriebe und bestimmte Regionen ist jedoch nicht möglich, da die bundesweite wirtschaftliche Entwicklung der Fleischproduktion nicht vorhergesagt werden kann.

Die genannten Veränderungen der Tierzahlen sind auch am jährlichen Fleischverzehr je Kopf der Bevölkerung zu erkennen. In Tabelle 58 sind die Anteile der Fleischarten einzelner Jahre und damit die langfristigen Entwicklungen aufgeführt.

Als direkte Vergleichsgröße hinsichtlich der Schlachtreste dient für die verschiedenen Tierarten die Angabe bzw. Umrechnung in Großvieheinheiten (GVE), dargestellt in Abbildung 117. Unabhängig von den gleichbleibenden Trends wird insgesamt das Biogaspotenzial aus Schlachtresten in Zukunft absinken.

Tabelle 58: Fleischverzehr pro Jahr in kg je Kopf der Bevölkerung im Vergleich [DFV 2008, DFV 2011, BVDF 2011]

Fleischart	1950	1975	1985	1995	2000	2006	2008	2010
Rindfleisch	9,0	15,3	15,1	11,4	9,6	8,3	8,4	8,6
Schweinefleisch	13,9	31,9	41,8	39,6	39,1	39,6	39,2	39,2
Geflügelfleisch	0,7	5,4	5,6	8,0	9,5	10,0	10,9	11,5
Andere	2,6	3,2	3,6	2,8	2,8	1,6	2,2	1,8
Insgesamt	26,2	55,8	66,1	61,8	61,0	59,5	60,7	61,1

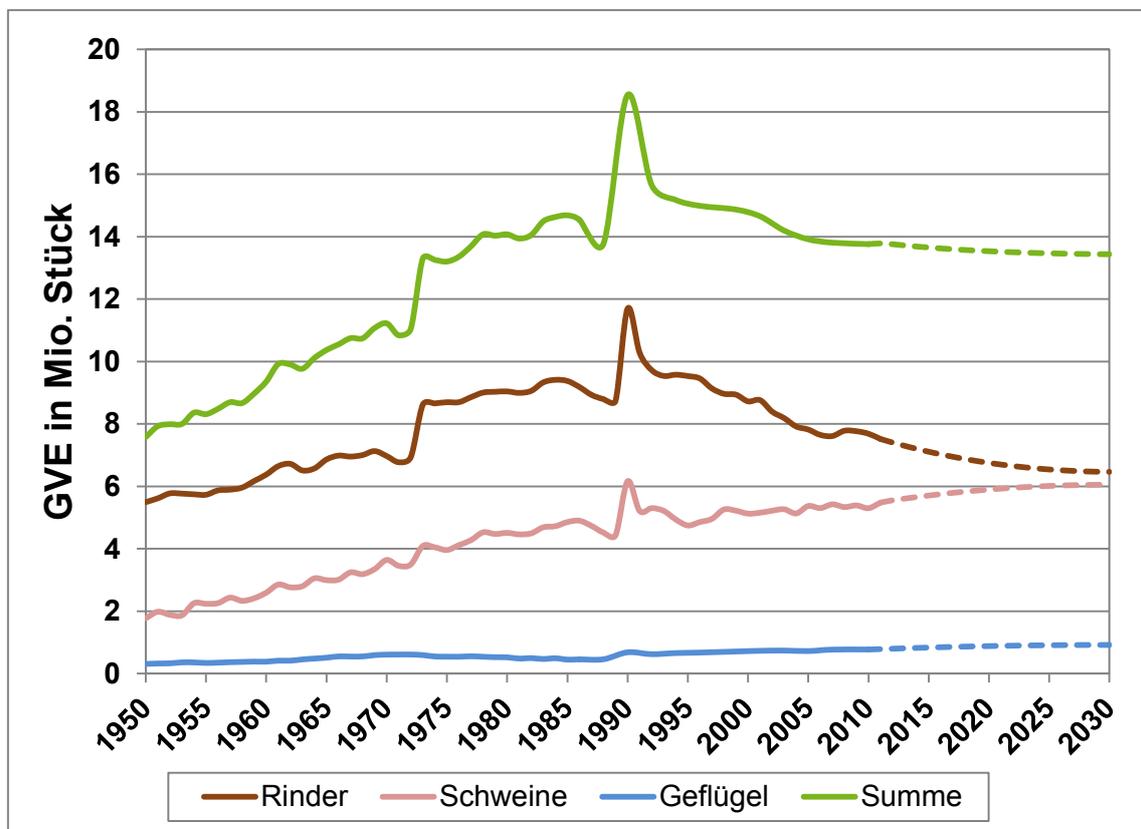


Abbildung 117: Entwicklung der Tierbestände in Großvieheinheiten (GVE) in Vergangenheit und Zukunft

Tabelle 59: Prognose der Tierzahlen bis 2030 in Mio. GVE

Tierart	2010	2015	2020	2030
Rinder	7,69	7,11	6,75	6,46
Schweine	5,30	5,71	5,90	6,05
Geflügel	0,77	0,84	0,88	0,92
Summe	13,76	13,65	13,53	13,44

Entsprechend den Berechnungen fällt die Prognose bis 2030, wie in Abbildung 118 dargestellt, aus. Die Adaptierung dieser Zahlen anteilig auf die Standort- und Bundeslanddaten unter Berücksichtigung der jeweiligen Tierart ermöglicht eine regionalisierte Prognose. Für die Darstellung des Biomethanpotenzials aus Schlachtesten sind wieder alle Tiergruppen zusammengefasst, wodurch allerdings beispielsweise die gegenläufigen Trends von Rinder- und Schweinebeständen in den Karten (Abbildung 118, Anhang Abbildung 190) nicht mehr deutlich zum Vorschein kommen. Darüber hinaus muss die Kategorisierung über große Wertebereiche erfolgen, sodass trotz generellen Rückgangs die Farbabstufung insbesondere bei den Standorten nur leicht über die Jahre variiert.

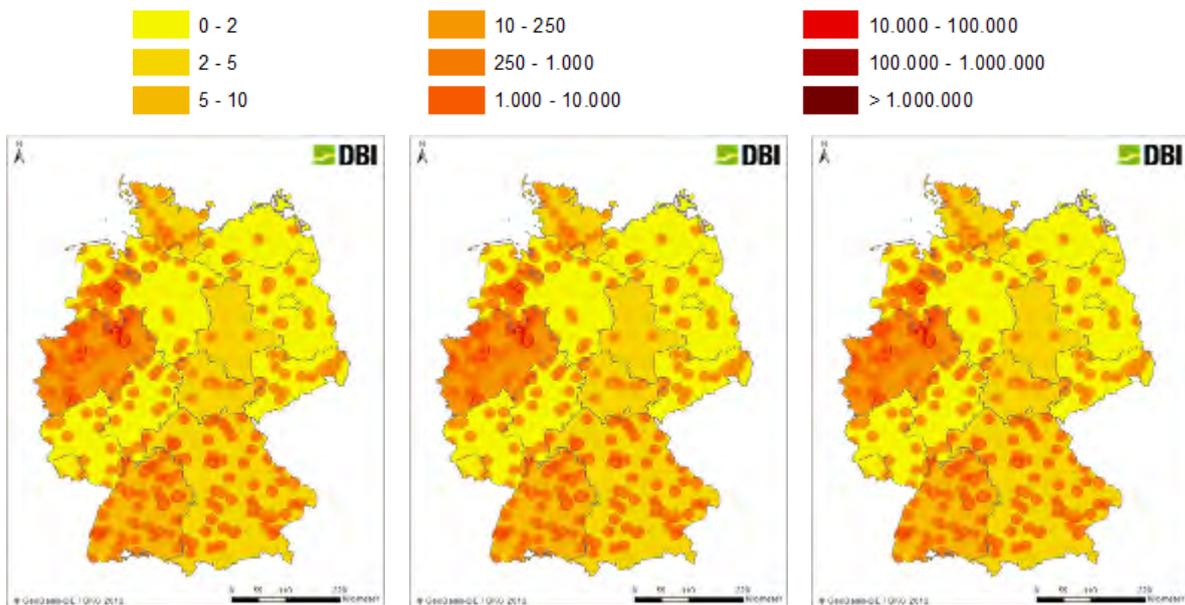


Abbildung 118: Theoretisches Biomethanpotenzial von Schlachtesten in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.4 Milchverarbeitung

Die Daten zur Milchverarbeitung liegen landkreisgenau vor. Die Landkreisdaten (Datenstand 2008) stammen vom Statistischen Bundesamt [STB 2008]. Der anfallende, für die Biogaserzeugung relevante Reststoff bei der Milchverarbeitung ist die Molke. Bei der Berechnung der Potenziale wird ausschließlich die Molke betrachtet, die bei der Milchverarbeitung (Käseproduktion) als Abfallprodukt anfällt. Unter der Annahme, dass pro Liter Kuhmilch 1,5 l Molke und Waschwasser anfallen [KALTSCHMITT 2009] und unter Berücksichtigung des spezifischen Methan-gasertrages von 18 Nm³ CH₄/t FM [BMU 2012a] ergibt sich ein *theoretisches Biogaspotenzial* von 186 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 6,7 PJ pro Jahr. Unter Einbeziehen von Lager-, Entnahme- und produktionsbedingten Verlusten wird das *technische Potenzial* der Molke berechnet, welches 171 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 6,1 PJ pro Jahr beträgt.

Da Molke einen niedrigen oTS-Gehalt (ca. 5 %; [GENESYS 2011]) aufweist, sollte aus wirtschaftlicher Sicht nach [NENTWIG 2012] (Vermeidung geringer Raumbelastungen aufgrund geringer oTS-Gehalte) Molke aufkonzentriert (Wasserentzug) werden. Das *wirtschaftliche Potenzial* beträgt 128 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 4,6 PJ pro Jahr.

In der folgenden Tabelle 57 sind die regionalen Verteilungen der Milcherzeugung nach [STB 2008], der Molkeanfall sowie die dazugehörigen Biomethangaspotenziale dargestellt.

Tabelle 60: Regionale Verteilung von Milch und Biomethangaspotenziale [STB 2008]

Bundesland	Milcherzeugung insgesamt in t	Molkeanfall bei Käseproduktion in t	Potenzial in Mio. Nm ³ CH ₄ /a		
			theor.	techn.	wirtsch.
Baden-Württemberg	2.197.500	789.500	14,21	13,10	9,8
Bayern	7.559.700	2.716.100	48,89	45,06	33,8
Berlin	0	0	0,00	0,00	0,0
Brandenburg	1.388.200	498.800	8,98	8,28	6,2
Bremen	0	0	0,00	0,00	0,0
Hamburg	0	0	0,00	0,00	0,0
Hessen	989.700	355.600	6,40	5,90	4,4
Mecklenburg-Vorpommern	1.432.900	522.300	9,40	8,66	6,5
Niedersachsen	5.303.100	1.905.300	34,30	31,61	23,7
Nordrhein-Westfalen	2.768.800	994.800	17,91	16,50	12,4
Rheinland-Pfalz	765.600	275.100	4,95	4,56	3,4
Saarland	86.900	31.200	0,56	0,52	0,4
Sachsen	1.607.700	586.000	10,55	9,72	7,3
Sachsen-Anhalt	1.065.800	388.500	6,99	6,45	4,8
Schleswig-Holstein	2.503.600	899.500	16,19	14,92	11,2
Thüringen	953.300	347.500	6,25	5,76	4,3
Deutschland, gesamt	28.622.800	10.310.300	186	171	128

Landkreise mit hohen Milchverarbeitungsmengen sind insbesondere in Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern zu finden.

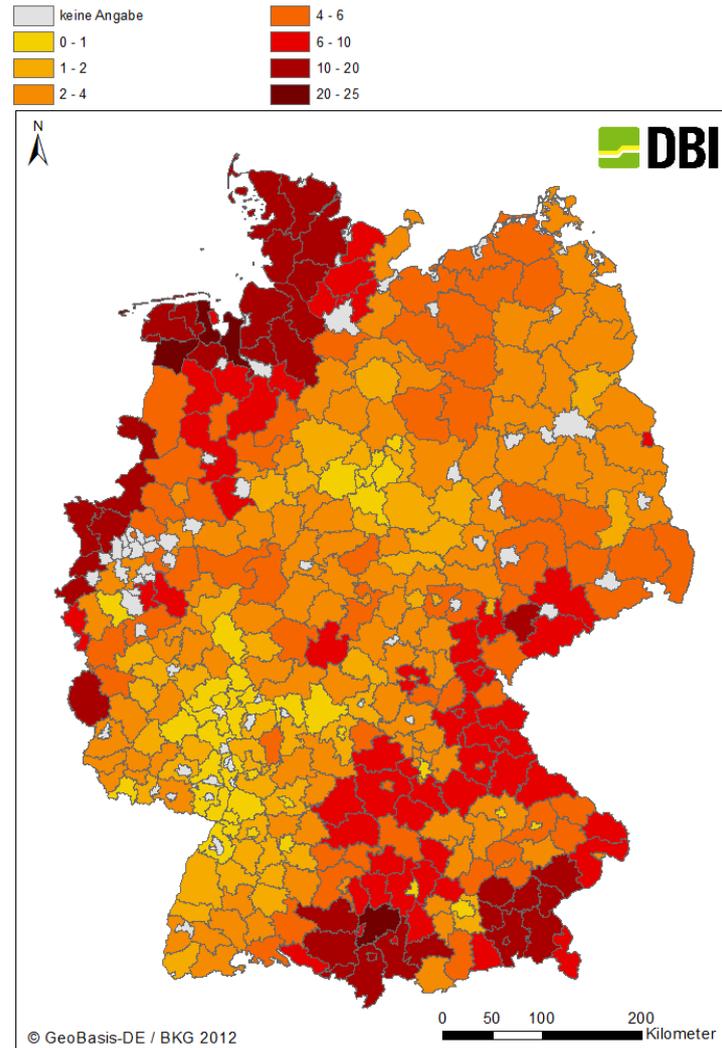


Abbildung 119: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Molke in Nm³ CH₄/ha

Der Vergleich mit anderen Studien ist kaum möglich. [KALTSCHMITT 2003] betrachtet lediglich die Abwässer, die bei der Milchverarbeitung entstehen. Da hier Milch- bzw. Molkereste nur teilweise und zudem stark verdünnt enthalten sind, ist der Methangasertrag mit 27 Mio. Nm³ Biomethan pro Jahr sehr gering. In [BMU 2008] wird die Milchverarbeitung betrachtet, jedoch liegt diese Studie mit einem angegebenen technischen Potenzial von 117,3 Mio. Nm³ Biomethan um 55,7 Mio. Nm³ Biomethan pro Jahr niedriger als der DVGW-Biogasatlas. [BMU 2008] unterstellt zudem höhere Abzüge wie die derzeitige Verfügbarkeit von Molke für Biogasanlagen und bindet weitere Verluste mit in die Berechnung ein. Daher ist das technische Potenzial in dieser Studie geringer als im DVGW-Biogasatlas.

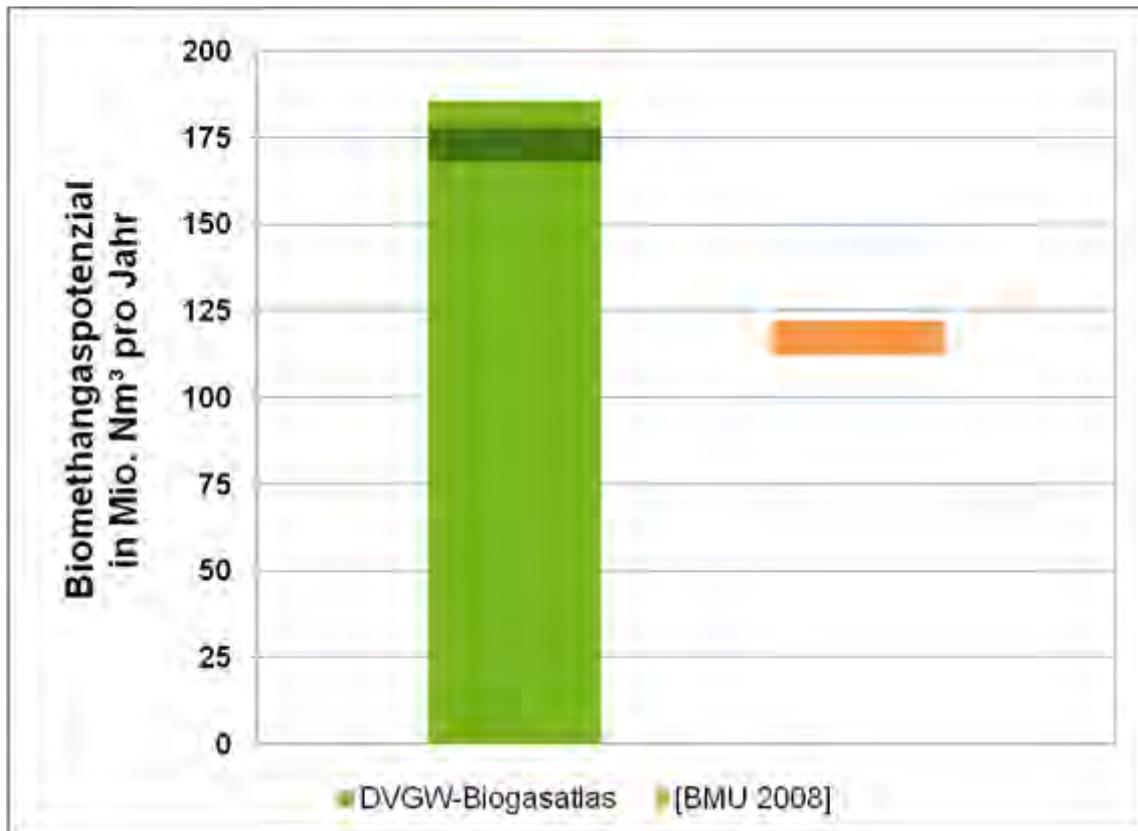


Abbildung 120: Biomethangaspotenzial aus Rückständen der Milchverarbeitung im Vergleich (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Milchverarbeitung

Für die Abschätzung der zukünftigen Milcherzeugung gilt es unterschiedliche Aspekte zu beachten. Einerseits haben die Entwicklung des Milchkuhbestands in Deutschland und andererseits die Steigerung der Milchleistung je Kuh direkten Einfluss auf die insgesamt produzierte Milchmenge. In Abbildung 121 sind diese zwei Größen einschließlich Prognose aufgetragen. Der Milchkuhbestand nimmt seit 2000 ohne starke Veränderungen durchschnittlich ein Drittel des gesamten Rinderbestands in Deutschland ein. Für letzteren wird ein Rückgang erwartet (Tierzahlen, siehe Kapitel 6.2.1 und 6.4.3), sodass voraussichtlich auch anteilig die Zahl der Milchkühe sinken wird. Die Milchleistung je Kuh dagegen erfährt seit 1990 einen konstanten Anstieg [MIV 2011]. Bei gleichbleibender Entwicklung wäre damit 2030 eine durchschnittliche jährliche Milchleistung von 9.000 kg je Kuh erreicht. Diese ist als realistisch einzuschätzen, da bereits heute einige Milchkuhrassen Spitzenwerte von 10.000 bis 14.000 kg Milch pro Jahr erreichen können [PROHVIEH 2012].

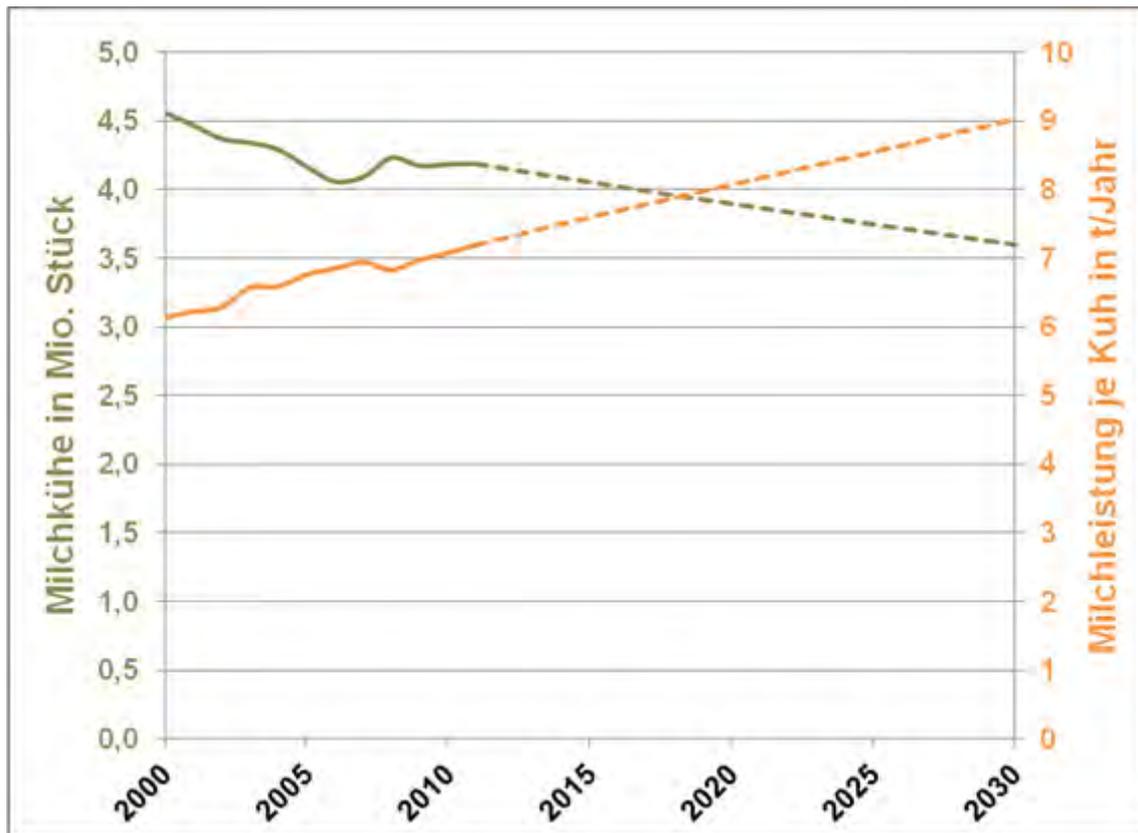


Abbildung 121: Entwicklung des Milchkuhbestands und der Milchleistung in Deutschland

Gemäß der benannten Prognosen wird die Milchproduktion in Deutschland damit leicht steigen (vgl. Abbildung 122) und bis 2030 rund 32,4 Mio. t erreichen (2015: 30,8 Mio. t; 2020: 31,4 Mio. t). Dies entspricht einem durchschnittlichen Anstieg von 0,3-0,4 % pro Jahr, der sich mit den Aussagen von [AH 2011] deckt. Folglich wird das Aufkommen an Molke bzw. dessen Biogaspotenzial zunehmen.

Abbildung 123 zeigt die regionalisierten, theoretischen Biomethanpotenziale aus Molke. Der prognostizierte Zuwachs ist entsprechend der aktuellen Verteilung auf Kreisebene angewendet. Damit stechen die bisherigen Ballungsgebiete vor allem in Nordwest- und Südostdeutschland weiter hervor. Das technische und wirtschaftliche Potenzial der Jahre 2015, 2020 und 2030 sind im Anhang in Abbildung 191 zu finden.

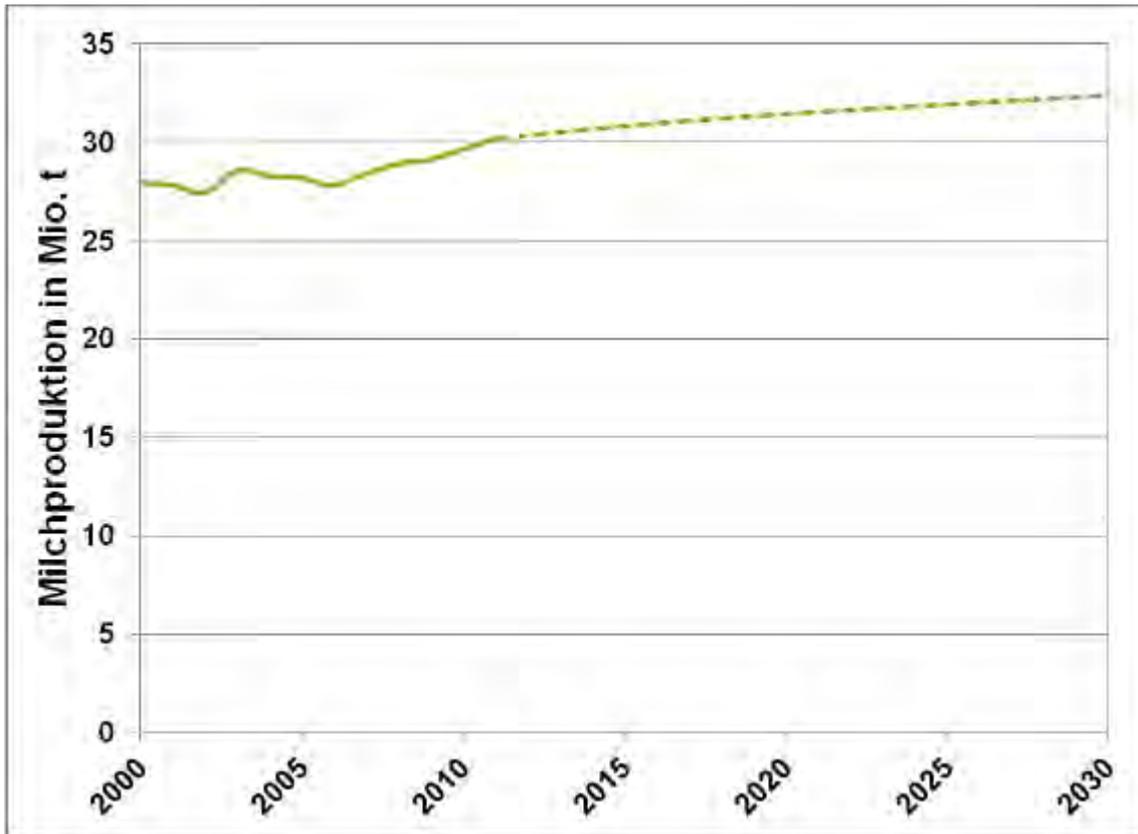


Abbildung 122: Entwicklung und Prognose der Milchverarbeitung von 1999 bis 2030

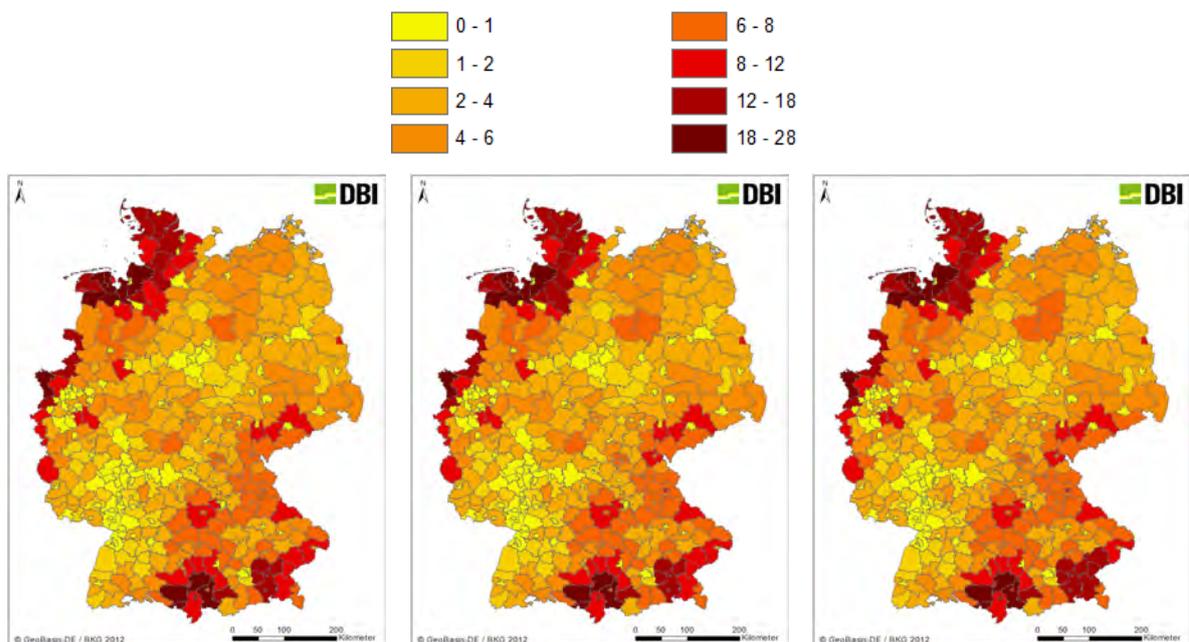


Abbildung 123: Theoretisches Biomethanpotenzial von Molke in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.5 Zuckerproduktion

Zur Herstellung von Zucker in Deutschland werden vorwiegend Zuckerrüben verwendet, welche auf 345.000 ha von 32.542 landwirtschaftlichen Betrieben in 2010/11 angebaut und von 20 Zuckerfabriken verarbeitet wurden [WVZ 2012a]. Diese Fabriken sind alle standortgenau erfasst und fließen in die Biogaspotenzialermittlung ein. Die Gesamtkapazität beträgt dabei in 2010/11 ca. 3,92 Mio. t Zucker [vgl. WVZ 2012a]. Folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Zuckerproduktion der Jahre 2007/08-2010/11.

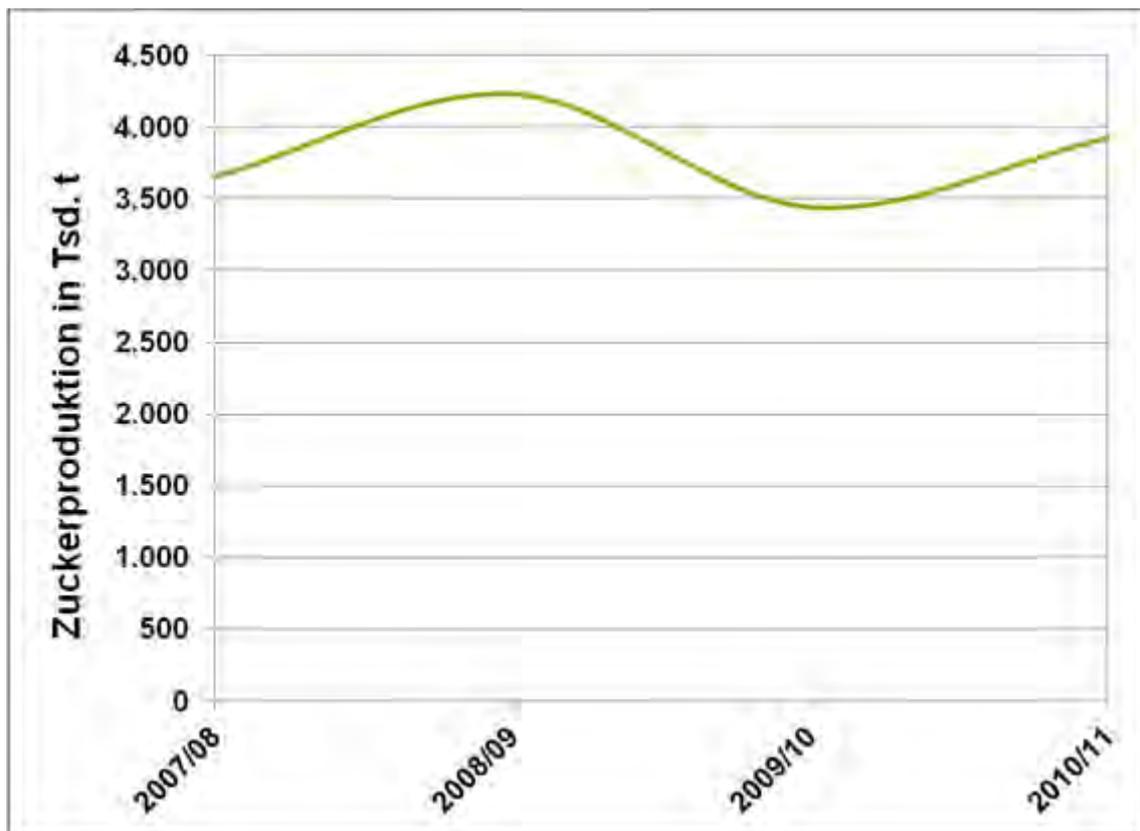


Abbildung 124: Zuckerproduktion in Deutschland von 2007/08 bis 2010/11 [WVZ 2012a]

Bei der Zuckerproduktion fallen als Nebenprodukte Melasse – ein dickflüssiger Sirup – und Rübenschnitzel an, welche zur Vergärung in Biogasanlagen geeignet sind [FNR 2010], [KALTSCHMITT 2009].

Zur Berechnung des theoretischen Potenzials ist anhand der Verarbeitungskapazität der Standorte und der bundesdeutschen Zuckerproduktionsrate (nach [WVZ 2012b]) die Auslastung der Standorte zu berücksichtigen. Daraus können die jeweiligen Melasse- und Rübenschnitzelmengen und unter Berücksichtigung der spezifischen Methangaserträge (Rübenschnitzel: 64 Nm³ CH₄/t FM, Melasse: 166 Nm³ CH₄/t FM [BMU 2012a]) das *theoretische Potenzial* jeder Zuckerfabrik ermittelt. In Summe entspricht dies einem theoretischen Potenzial von 238 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 8,5 PJ pro Jahr. Unter Abzug von Lager-, Trans-

port- und Entnahmeverlusten ergibt sich ein *technisches Potenzial* von 129 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 4,6 PJ pro Jahr.

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist zwischen Melasse und den Rübenschnitzeln zu unterscheiden.

Melasse

Melasse wird aktuell hauptsächlich als Futtermittel genutzt oder an Hefefabriken, Brennereien sowie weitere Abnehmer verkauft [WVZ 2012a]. Der dabei durchschnittlich gezahlte Preis beträgt ca. 145 €/t [DMH 2012]. Um Melasse wirtschaftlich in Biogasanlagen einzusetzen, ist dieser Preis jedoch zu hoch. Zur Ermittlung des wirtschaftlichen Potenzials wird daher nur der Anfall an Rübenschnitzel herangezogen.

Rübenschnitzel

Rübenschnitzel sind mit einem Marktpreis von 1,50 €/t nach [BZ 2009] wirtschaftlich sinnvoll in Biogasanlagen einsetzbar. Derzeit werden Rübenschnitzel jedoch hauptsächlich als Futtermittel eingesetzt [WVZ 2012b]. Man unterscheidet diese dabei in Nass-, Press- und Trockenschnitzel, wobei der Absatz an Trockenschnitzel mit 84 % am höchsten ist [WVZ 2012a]. Der energetische Aufwand der Trocknung oder Pressung macht die Verwendung in Biogasanlagen mit steigenden Energiepreisen in Zukunft jedoch zunehmend interessant, da in Biogasanlagen keine Trockenschnitzel zwingend benötigen.

In Gesamtdeutschland ist demzufolge ein *wirtschaftliches Potenzial* von 102 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 3,7 PJ pro Jahr gegeben. Die Potenziale sind in Abbildung 125 wiederzufinden.

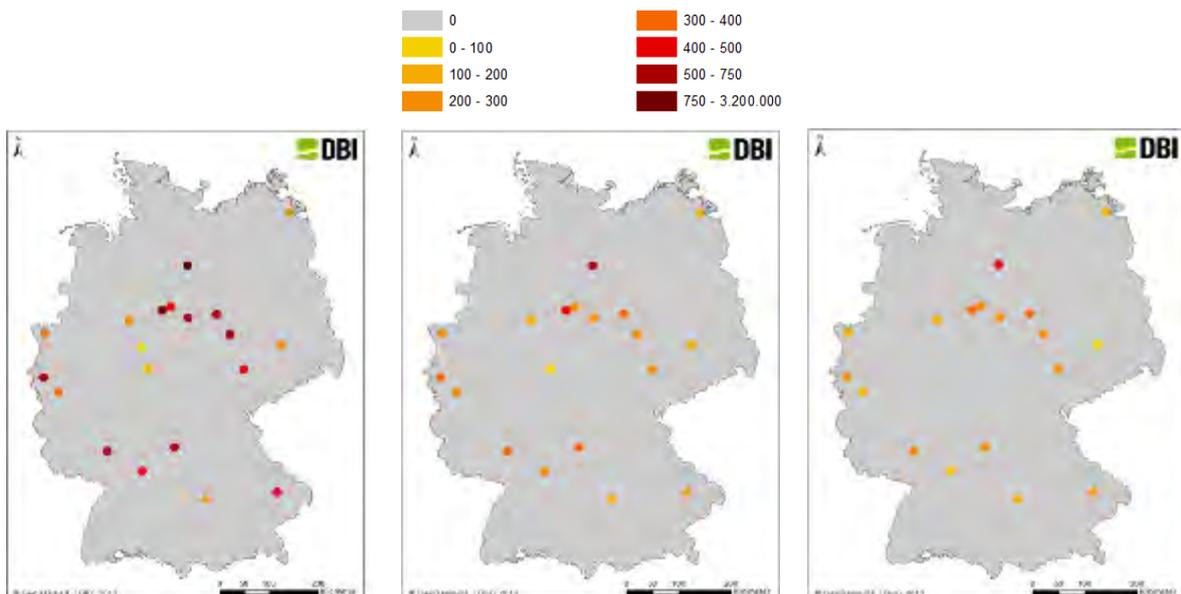


Abbildung 125: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial aus Rübenschnitzel/Melasse in Nm³ CH₄/ha

Ein Vergleich des technischen Biogaspotenzials mit dem von [KALTSCHMITT 2003] ermittelten Potenzial ist in der folgenden Abbildung 126 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die in der vorliegenden Potenzialanalyse ermittelte Biomethangasmenge für das technische Potenzial höher ist als die von [KALTSCHMITT 2003] angegebene. Die Begründung liegt darin, dass [KALTSCHMITT 2003] nur die energetisch nutzbare Menge an Nebenprodukten der Zuckerproduktion betrachtet – in dem Falle ca. 10 bis 20 % der Ausgangsmasse. Zudem ist die angenommene Produktionsmenge an Zucker höher. Es ist eine ungefähre Übereinstimmung des von [KALTSCHMITT 2003] ermittelten technischen Potenzials mit dem in der vorliegenden Studie ermittelten wirtschaftlichen Potenzial zu finden, jedoch wird hier lediglich das Nebenprodukt Rübenschnitzel betrachtet. Weitere deutschlandweite Potenzialstudien für die Biogasproduktion aus Rübenschnitzeln existieren nicht.

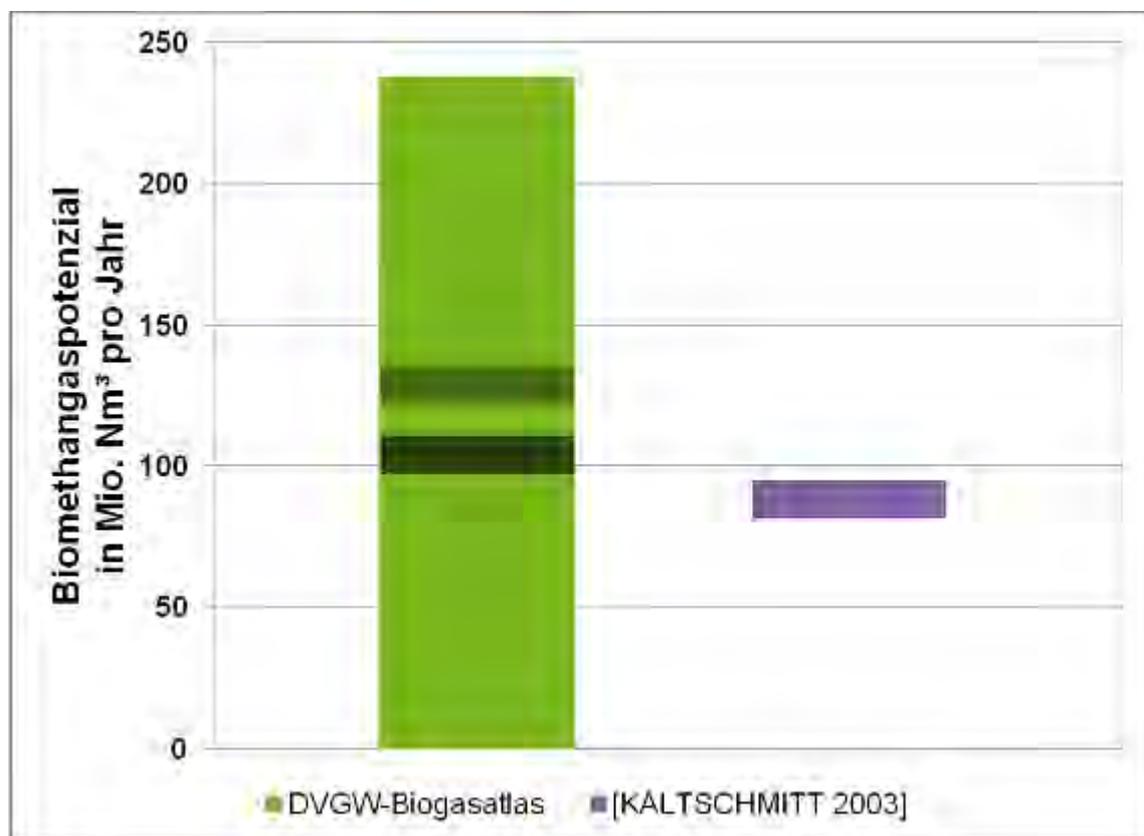


Abbildung 126: Biomethangaspotenzials aus Rübenschnitzel/Melasse im Vergleich (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; obere Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben; untere Linie: wirtschaftliches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Zuckerproduktion

Die Zuckerproduktion bzw. der Zuckerabsatz verlaufen seit über 30 Jahren relativ konstant [WVZ 2012a]. Konkrete Zahlen sind jedoch nur von den Jahren 2007 bis 2011 vorhanden. Nach Aussagen des deutschen Zuckerverbandes werden pro Kopf und Jahr aktuell rund 37 kg Zucker in Deutschland verbraucht. Spitzenreiter

im jährlichen Zuckerverbrauch in Europa ist die Schweiz mit 59 kg Zucker. Weltweit steht Kuba mit 64 kg Zucker pro Kopf und Jahr an erster Stelle [WVZ 2012].

Tabelle 61: Pro-Kopf-Verbrauch an Zucker in kg/(EW*a) einiger Länder im Vergleich [WVZ 2011]

Länder	2008	2009	2010	2011
EU	37,5	36,4	37,3	37,5
Schweiz	57,3	46,6	47,1	58,8
Russland	42,5	42,3	42,5	42,5
USA	31,2	32,5	33,0	32,4
Kuba	63,5	54,1	54,1	64,1
Brasilien	62,5	63,1	63,3	63,0
China	11,4	11,3	11,2	11,4
Australien	62,4	62,0	61,8	61,5

Abbildung 127 zeigt den deutlichen Anstieg des spezifischen Zuckerverbrauchs in Deutschland innerhalb der letzten 100 Jahre. Bezogen auf die jüngere Vergangenheit ist jedoch in Zukunft nur noch ein leichter Zuwachs zu erwarten.

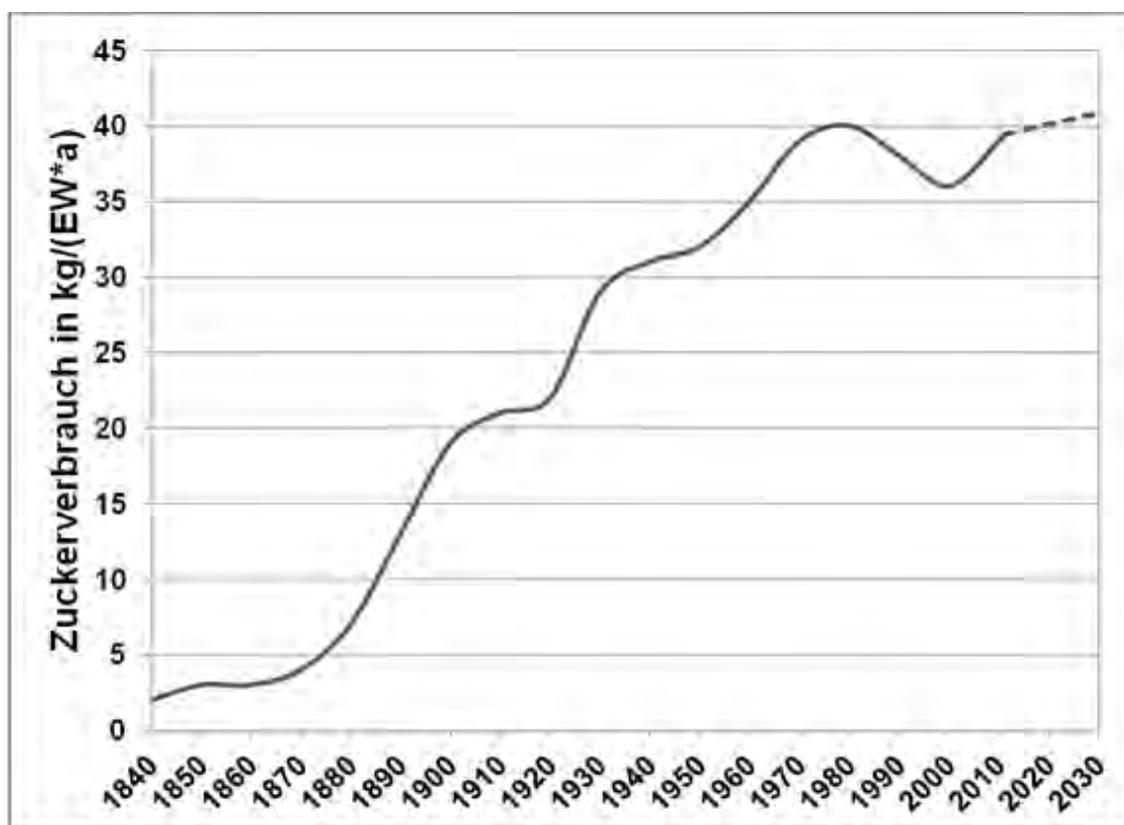


Abbildung 127: Entwicklung des Zuckerverbrauchs pro Kopf und Jahr in Deutschland seit 1840 [EVIDERO 2012]

Für die Zuckerproduktion ist kein wesentlicher Trend des Auf- oder Abstiegs zu erkennen und in den Industrieländern wird der Zuckerverbrauch nahezu konstant bleiben [KOERBER 2009]. Daher kann davon ausgegangen werden, dass das Potenzial der Reststoffe auch zukünftig auf ähnlichem Niveau wie derzeit bleibt. Unter Berücksichtigung der zu erwartenden durchschnittlichen Bevölkerungsentwicklung ist ein leichter Rückgang des inländischen Zuckerverbrauchs in Summe wahrscheinlich. Die jährliche Zuckerproduktion würde in Anpassung daran bis 2030 auf ca. 3,7 Mio. t absinken (2015: 3,9 Mio. t; 2020: 3,8 Mio. t; vgl. Abbildung 128).

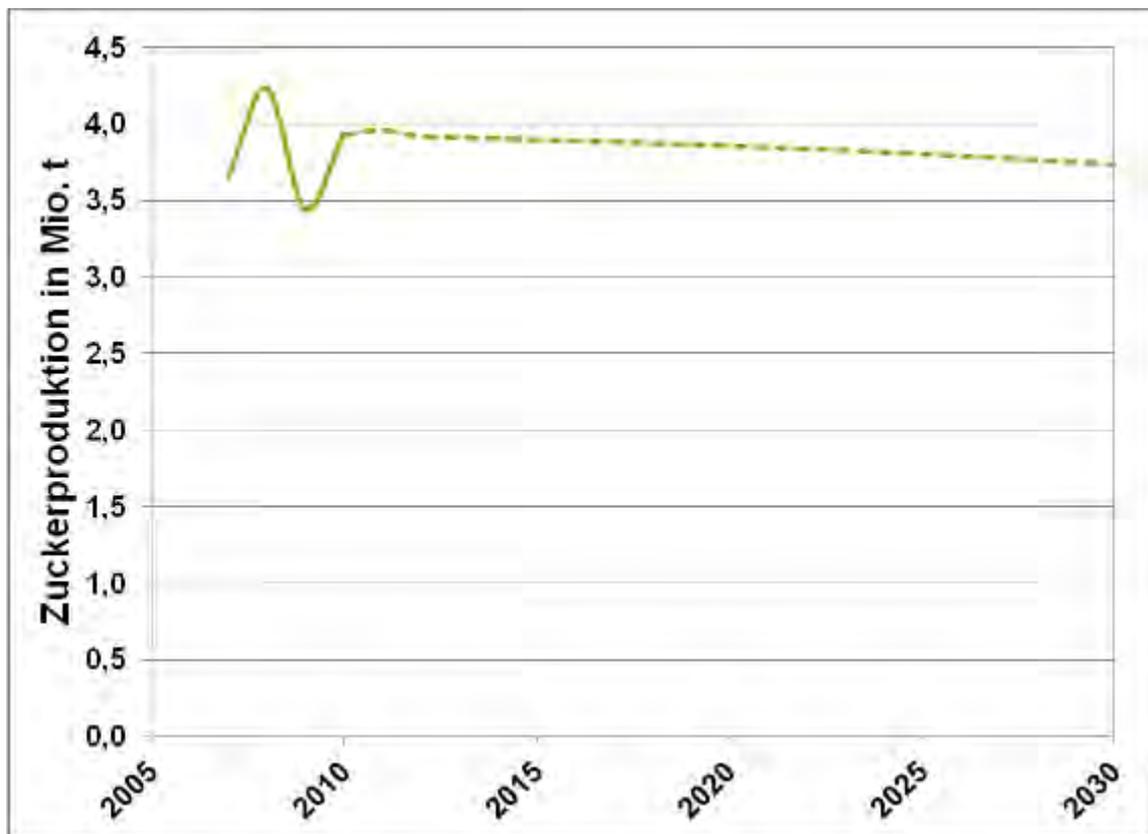


Abbildung 128: Entwicklung und Prognose der Zuckerverarbeitung von 2007 bis 2030

Abbildung 129 stellt die regionalisierte Prognose standortbezogen für Deutschland dar (theoretisches Potenzial). Aufgrund des nur geringen Rückgangs ist die Farb-
abstufung in den Karten nur vereinzelt zu erkennen.

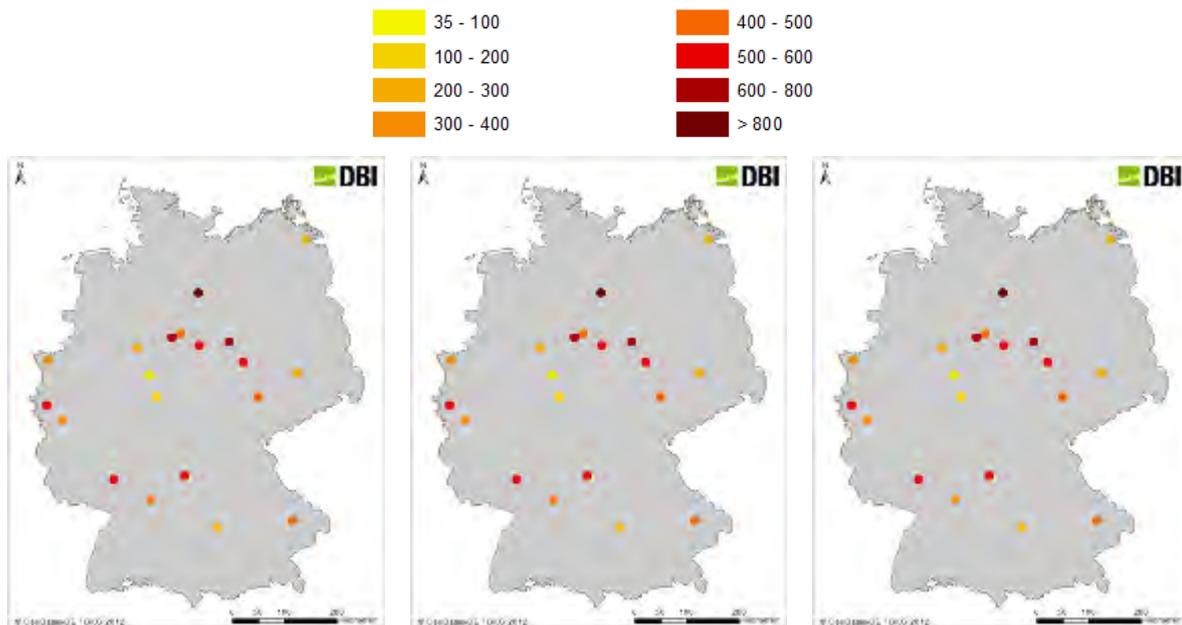


Abbildung 129: Theoretisches Biomethanpotenzial von Rübenschnitzel und Melasse in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.6 Kartoffelverarbeitende Industrie

Bei der Betrachtung der kartoffelverarbeitenden Industrie wurde zunächst zwischen der Stärkeproduktion und der eigentlichen Kartoffelverarbeitung unterschieden. Es sind 8 stärkeproduzierende Standorte und 20 kartoffelverarbeitende Standorte in die Berechnungen aufgenommen worden. Diese verarbeiten insgesamt ca. 5.027.000 t Kartoffeln pro Jahr (Kartoffelverarbeitung: 2.103.000 t/a, Stärkeproduktion: 2.924.000 t/a) [BOGK 2011].

Aus den recherchierten Daten zur Produktionsmenge wird nach [KALTSCHMITT 2009] die Menge an Kartoffelschalen bestimmt (250 g Schalen pro kg Kartoffeln). Verrechnet mit dem spezifischen Methangasertrag von $66 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [BMU 2012a] ergibt sich ein *theoretisches Biogaspotenzial* von ca. 83 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 3,0 PJ pro Jahr. Unter Einbeziehung von spezifischen Verlusten (Lager-, Transport- und produktionsbedingte Verluste) beträgt das *technische Potenzial* 76 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 2,7 PJ pro Jahr.

Kartoffelschalen müssen zur Nutzung in Biogasanlagen nicht zwingend aufbereitet werden (z.B. getrocknet, konzentriert etc.). Bei einem Marktpreis von 4 €/t FM [AVIKO 2011] und einem spezifischen Methangasertrag von $66 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [BMU 2012a] ist es möglich, den Rest aus der Kartoffelproduktion in einer Biogasanlage zu wirtschaftlichen Bedingungen zu nutzen. Das *wirtschaftliche Potenzial* beträgt 72 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 2,6 PJ pro Jahr. Der errechnete maximale Transportradius für Kartoffelschalen beträgt 9,34 km.

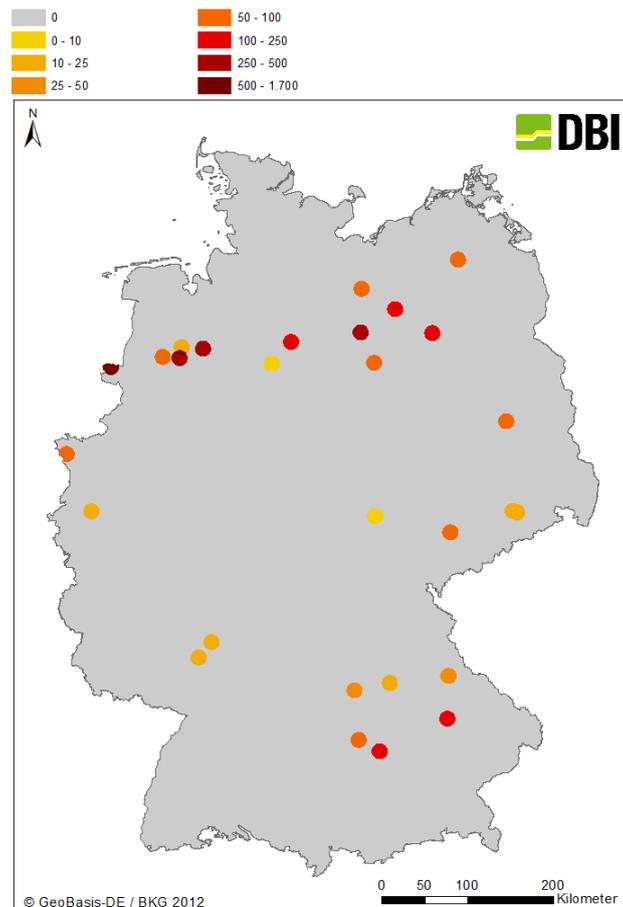


Abbildung 130: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Kartoffelschalen in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$

Ein Vergleich der berechneten Werte mit anderen Studien ist nicht möglich. [KALTSCHMITT 2003] geht zwar auf den Kartoffelanbau ein, jedoch nicht auf die im DVGW-Biogasatlas untersuchten Industriezweige.

Prognose Kartoffelverarbeitende Industrie

In der Kartoffelverarbeitung sind nur kleinere Schwankungen im Jahresverlauf zu verzeichnen. Tendenziell sind zukünftig keine starken Abweichungen zu erkennen, da im Bereich der Lebensmittel jährlich stets relativ konstante Produktions- und Verbrauchswerte zu verfolgen sind [BOGK 2011]. Angesichts der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland ist allerdings von einem leichten Rückgang des Bedarfs auszugehen (vgl. Abbildung 131). Bis 2015 würden folglich rund 981.700 t Kartoffelerzeugnisse hergestellt. Für 2020 und 2030 betragen die Mengen 971.300 t und 940.100 t. Das Biogaspotenzial aus Kartoffelschalen wird demnach auch einem leichten Rückgang unterliegen.

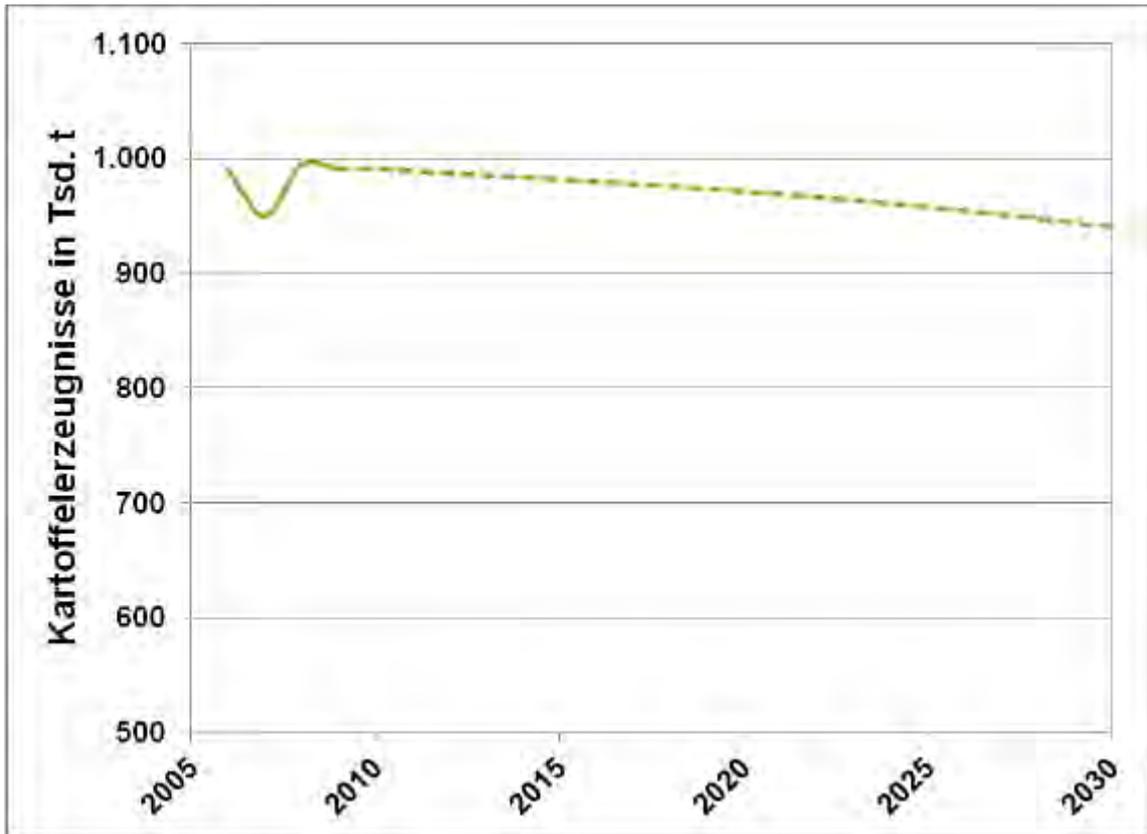


Abbildung 131: Entwicklung und Prognose der Produktionsmengen in der kartoffelverarbeitenden Industrie von 2006 bis 2030

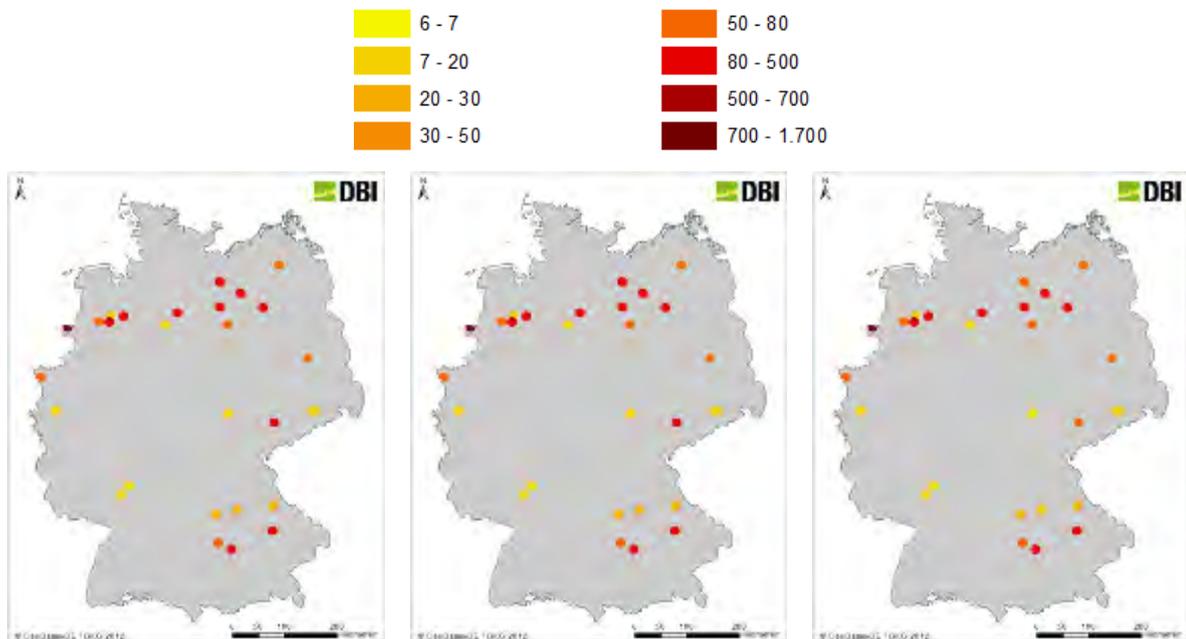


Abbildung 132: Theoretisches Biomethanpotenzial von Kartoffelschalen in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.7 Biodieselproduktion

Biodiesel wird aktuell an 45 Standorten in Deutschland produziert [BMELV 2012b]. Als Reststoff fällt Rohglycerin an. Dieses Substrat wird vornehmlich in der Kosmetik- und Pharmaindustrie, aber auch als Fermentationssubstrat eingesetzt. In folgender Abbildung ist die Entwicklung der Biodieselproduktion in Deutschland der Jahre 2003 bis 2010 dargestellt.

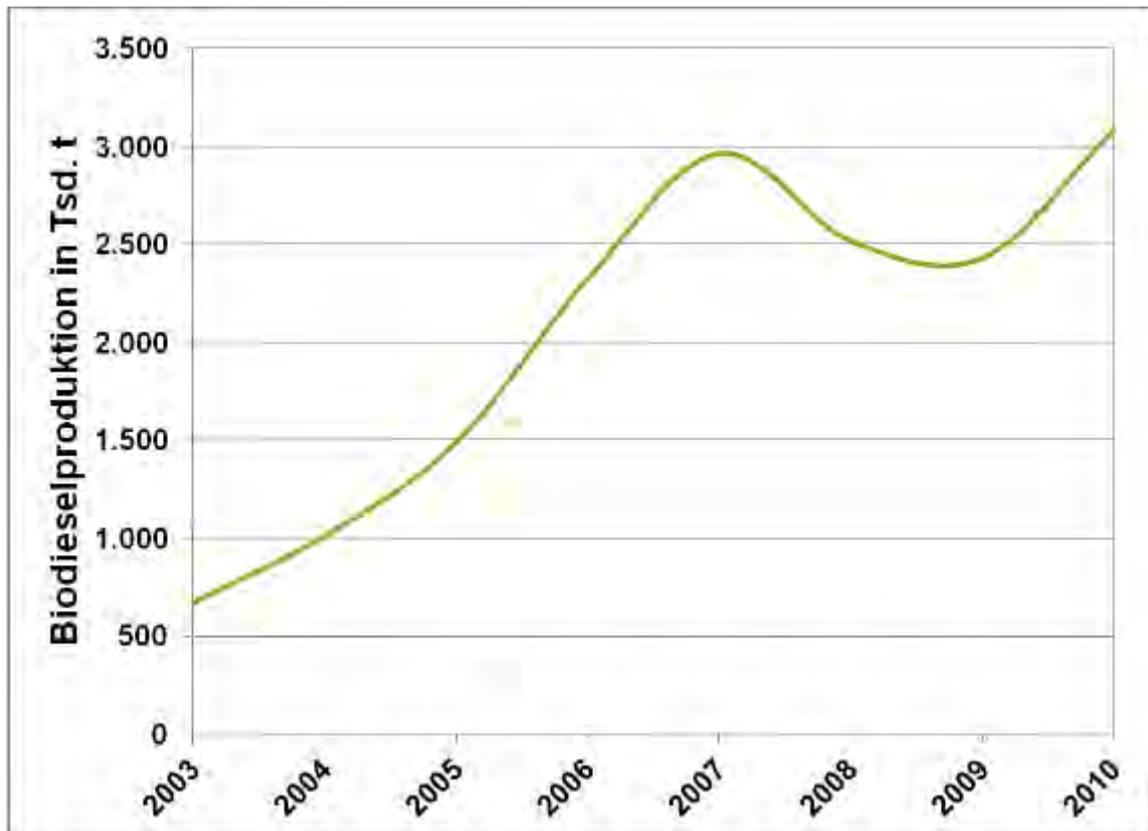


Abbildung 133: Biodieselproduktion in Deutschland von 2003 bis 2010 [STB 2012f]

Je Tonne Biodiesel fallen bei der Produktion nach [KTBL BIOGAS 2009] 100 kg Rohglycerin an. Zusammen mit dem Methangasertrag von $147 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [BMU 2012a] lässt sich das *theoretische Biogaserzeugungspotenzial* für jeden Standort ermitteln. Dieses beträgt deutschlandweit 45 Mio. Nm^3 Biomethan oder 1,6 PJ pro Jahr.

Das *technische Potenzial* berechnet sich unter Abzug von Lager-, Transport- und Entnahmeverlusten. In Deutschland ist unter diesen Abzügen mit einem Gesamtpotenzial von 42 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 1,5 PJ pro Jahr für die Biodieselproduktionsstandorte zu rechnen.

Rohglycerin hat nach [FNR 2010] einen oTS-Gehalt von ca. 60 %. Es kann somit ohne Aufkonzentration vergoren werden. Da der Reststoff der Biodieselproduktion einen hohen Methangasertrag von $147 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ aufweist, ist der Radius des Einzugsgebietes mit 20,8 km im Vergleich zu den anderen betrachteten Substraten sehr groß. Mit einem aktuellen Marktpreis von 80 €/t FM [FNR 2010] ist Roh-

glycerin ein teures Biogasanlagensubstrat. Bei den aktuell erzielbaren Vergütungen (EEG) ist davon auszugehen, dass Rohglycerin nicht zu wirtschaftlichen Bedingungen in Biogasanlagen eingesetzt werden kann.

Es ist somit kein wirtschaftliches Potenzial vorhanden. Abbildung 134 zeigt das theoretische Potenzial aus Rohglycerin.

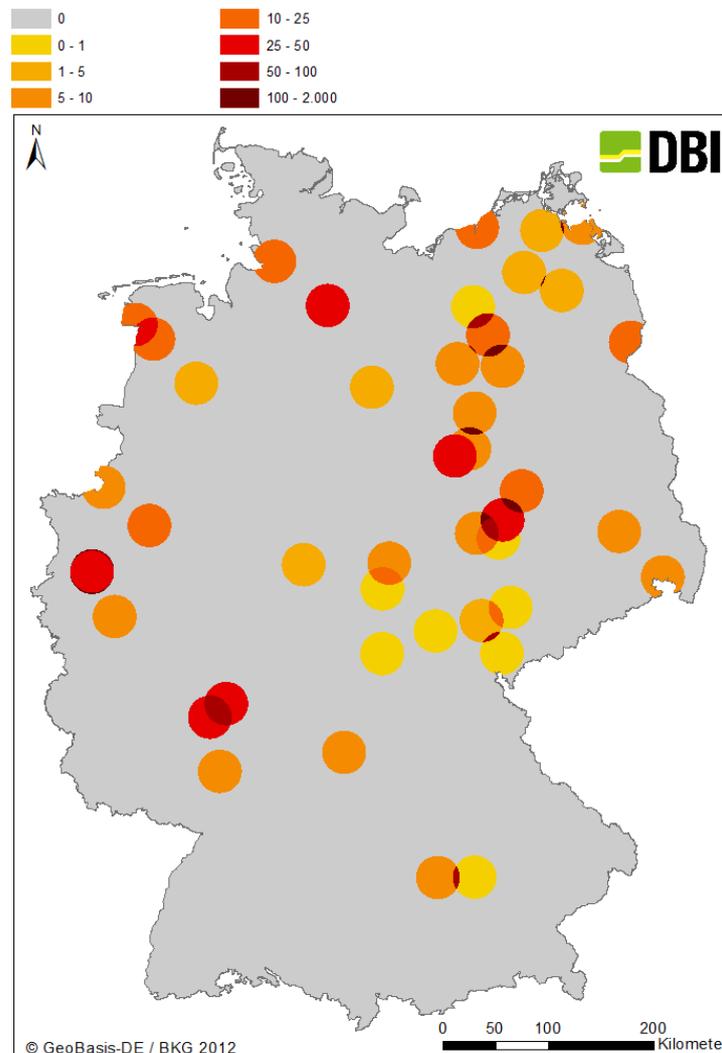


Abbildung 134: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Rohglycerin in Nm³ CH₄/ha

In Abbildung 135 ist das theoretische Potenzial von Rohglycerin aus dem DVGW-Biogasatlas, mit Anteil des technischen Potenzials, und das technische Potenzial aus [VDI 2009] dargestellt. Vergleicht man die technischen Potenziale aus [VDI 2009] und der vorliegenden Potenzialstudie, ergibt sich ein deutlicher Unterschied. In [VDI 2009] wird von einer technischen Biomethangasmenge von 17,8 Mio. Nm³ bzw. 0,64 PJ pro Jahr ausgegangen. Diese Zahl liegt deutlich unter der im DVGW-Biogasatlas berechneten. Grund hierfür ist einerseits die gestiegene Biodieselproduktionsmenge. Weiterhin werden in [VDI 2009] keine Aussagen zum Rechenweg getroffen, sodass auch hier weitere Unterschiede zwischen den beiden Studien vorliegen können.

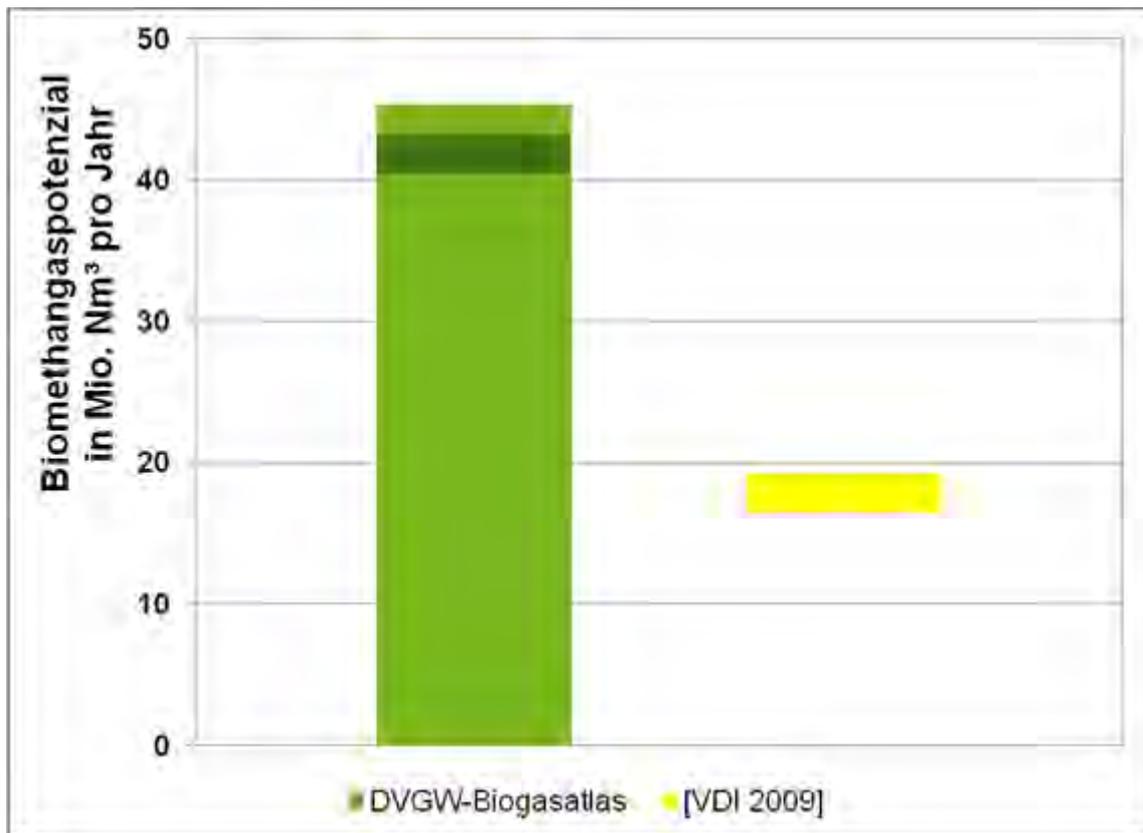


Abbildung 135: Biogaspotenzial aus Rückständen der Biodieselproduktion im Vergleich (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Biodieselproduktion

Das Marktfeld von Biodiesel zeigte bis 2007 eine steigende Produktion. Da Biodiesel jedoch seitdem nicht mehr steuerfrei zur Verfügung steht, wird dieser Treibstoff (in Reinform) immer unattraktiver für den Verbraucher und erfuhr zunächst einen Rückgang. Zur Einhaltung der Klimaschutzziele der Bundesregierung erfolgt deshalb eine Beimischung des Biotreibstoffs zum konventionellen Diesel in verschiedenen Prozentsätzen (PKW: 10 %, Nutzfahrzeuge: 30 % [BEE 2009]). Darüber hinaus wird die Mineralölwirtschaft durch das Biokraftstoffquotengesetz dazu verpflichtet, Biokraftstoffe in anwachsenden Anteilen in Verkehr zu bringen. Mit einem jährlichen Anstieg von 0,25 % muss die Menge von Biokraftstoffen bis 2015 insgesamt 8 % des Energiegehalts aller verbrauchten Kraftstoffe einnehmen (BiokraftQuG und §37a BImSchG).

Damit lässt sich in Koppelung mit einer Prognose zum Dieselkraftstoffverbrauch [UFOP 2011] die Entwicklung der Biodieselproduktion abschätzen. In Tabelle 62 sind die zu erwartenden Verbrauchswerte für Dieselkraftstoff und die geforderten Mengen an Biodiesel gegenüber gestellt.

Tabelle 62: Entwicklung des Biodiesel-/Dieselkraftstoffabsatzes bis 2030 (in Mio. t)

Kraftstoff	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020	2030
Diesel	32,5	33,0	33,3	33,5	33,7	33,9	33,0	30,0
Quote (%)	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,00	8,00
Biodiesel	2,51	2,64	2,76	2,87	2,98	3,10	3,02	2,74

Anhand der per Quote geregelten Absatzmengen lässt sich die relative Entwicklung der Produktionsmenge an Biodiesel in Deutschland ableiten. Diese wird bis 2015 auf rund 3,81 Mio. t ansteigen und danach aufgrund des prognostizierten Rückgangs im allgemeinen Dieserverbrauch [UFOP 2011] auf 3,71 Mio. t (2020) bzw. 3,37 Mio. t (2030) absinken. In Abbildung 136 ist die Entwicklung der Biodieselproduktion einschließlich dessen Absatzforderung mit dem prognostizierten Dieserverbrauch gegenüber gestellt.

Das Nebenprodukt der Biodieselproduktion, das Rohglycerin, ist ein attraktiver Rohstoff für die Pharma- und Kosmetikindustrie. Dadurch liegt ein entsprechender Marktpreis vor. Dieser macht das Rohglycerin als wirtschaftlich sinnvolles Substrat für Biogasanlagen allerdings unattraktiv. Wenn die Biodieselproduktion zukünftig weiter steigt und sich der Marktpreis vermutlich sinkt, wird Rohglycerin für die Biogasproduktion ggf. interessanter.

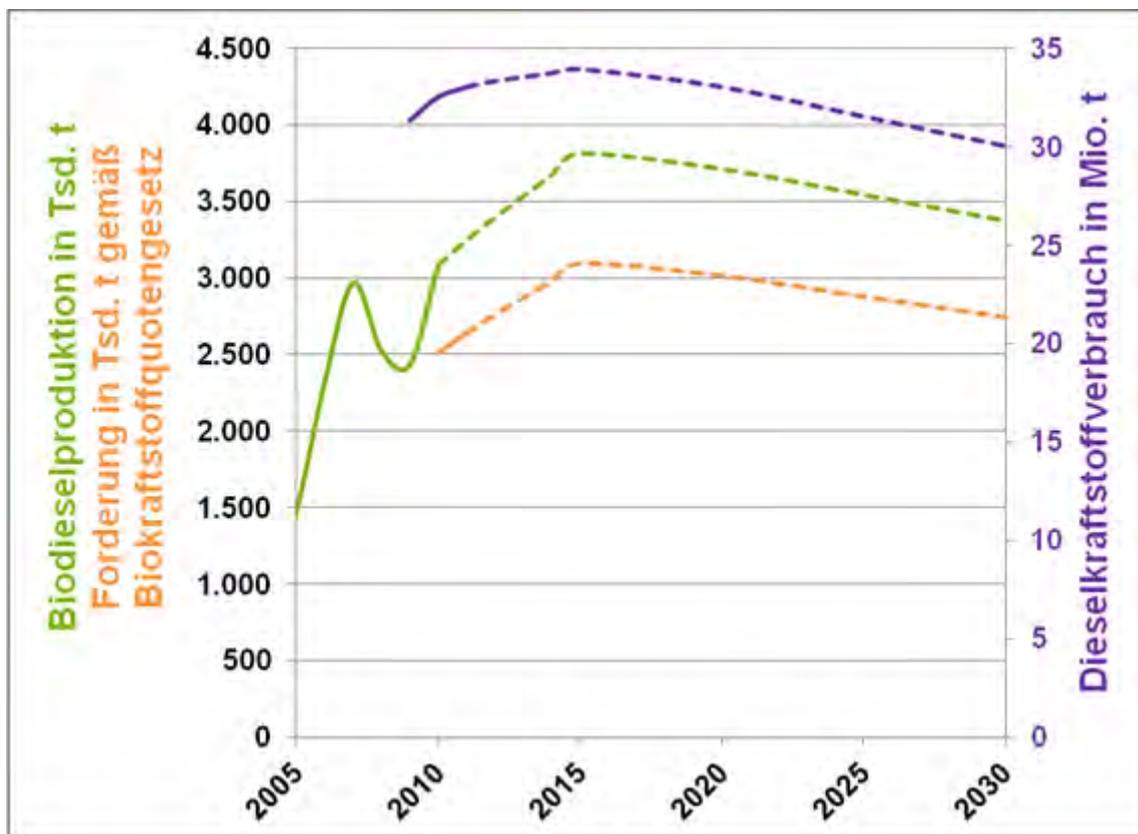


Abbildung 136: Entwicklung und Prognose der Biodieselproduktion und dessen Absatzforderung gegenüber dem Dieselfkraftstoffverbrauch von 2005 bis 2030

Zur Ableitung der regionalen Entwicklungen aus der gesamtdeutschen Prognose sind anders als bei den bisherigen industriellen Reststoffen differenziertere Betrachtungen hinsichtlich der eingesetzten Rohstoffe anzustellen. Ausgehend von den prognostizierten Produktionsmengen an Biodiesel für Deutschland wird auf die erforderliche Rapssaatmenge zurückgerechnet, um den Zahlenwert für die benötigte Erntemenge zu erhalten. Dieser Betrag wird entsprechend dem aktuellen bundesweiten Ernteaufkommen unter Berücksichtigung der Fruchtbarkeitsklassen der Böden auf alle Ackerflächen des Landes aufgeteilt (bewirkt allgemeine Absenkung der flächenspezifischen Potenzialzahlen). Deutlich zu erkennen ist, dass sich die größten Potenziale im nord- und mitteldeutschen Raum ergeben.

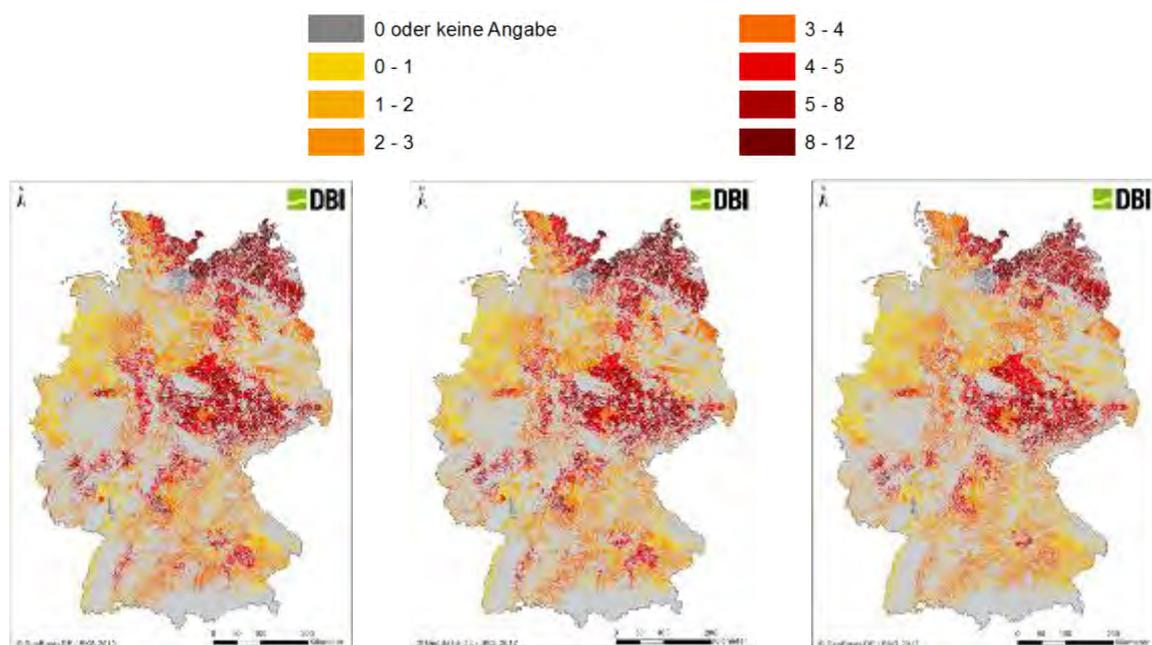


Abbildung 137: Theoretisches Biomethanpotenzial von Rohglycerin in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.8 Bioethanolproduktion

Im Jahr 2010 wurden nach [STB 2012f] deutschlandweit ca. 619.390 t Bioethanol produziert. Derzeit existieren 13 produzierende Bioethanolfirmen in Deutschland, welche standortgenau in dieser Studie berücksichtigt werden [IWR 2011]. Folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Bioethanolproduktion im Zeitraum von 2005 bis 2010.

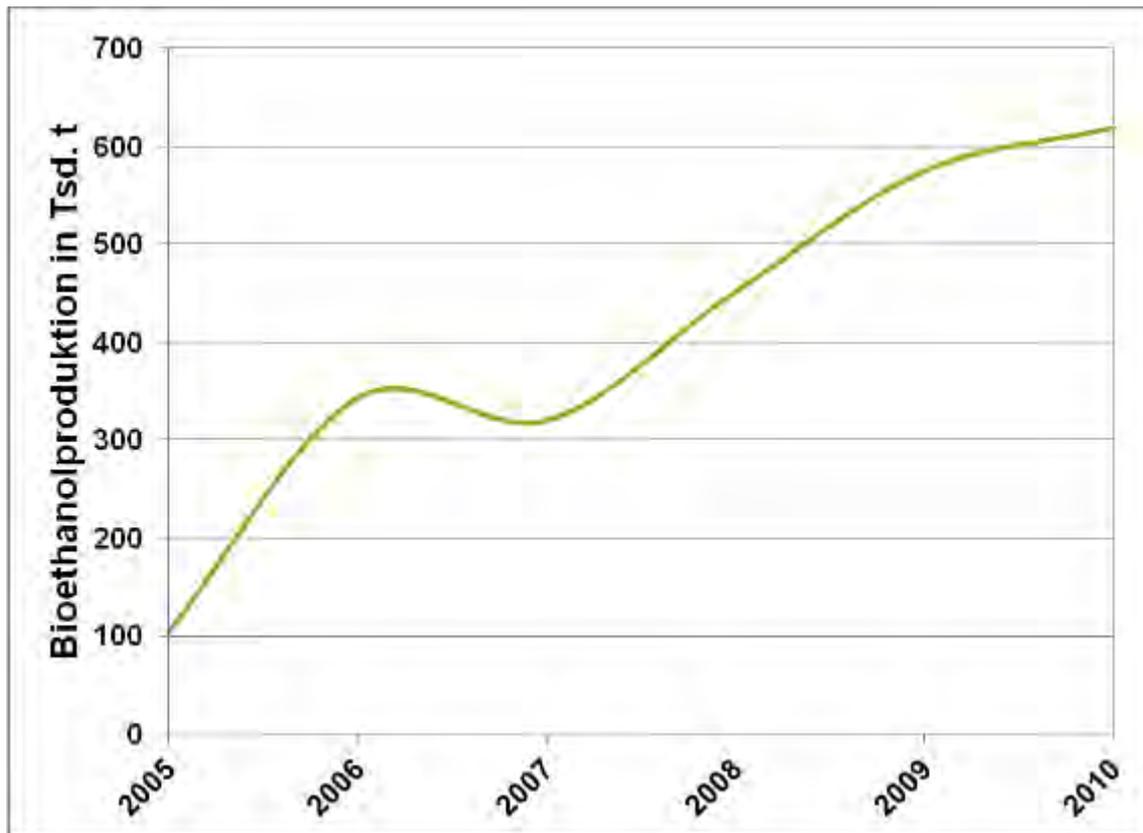


Abbildung 138: Bioethanolproduktion in Deutschland von 2005 bis 2010 [STB 2012f]

Der verwertbare Reststoff aus der Bioethanolproduktion ist Schlempe. Pro m^3 Bioethanol fallen nach [SENN 2003] $0,16 \text{ m}^3$ oTS Schlempe an. Der standort-spezifische Schlempeanfall wird mit dem spezifischen Methangasertrag von $400 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$ oTS Schlempe [SENN 2003] verrechnet. Somit erhält man ein *theoretisches Biogaspotenzial* von 50 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 1,8 PJ pro Jahr.

In die Berechnung des *technischen Potenzials* fließen entnahme-, transport- und produktionsbedingte Verluste ein. Nach Abzug dieser Restriktionen ist ein technisches Potenzial von 46 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 1,6 PJ pro Jahr festzustellen.

Schlempe wird neben dem Einsatz in Biogasanlagen auch als Futtermittel und Dünger eingesetzt. Aufgrund des niedrigen oTS-Gehaltes von ca. 5 % nach [FNR 2010] ist es sinnvoll, Schlempe aufzukonzentrieren, um diese wirtschaftlich in Biogasanlagen einzusetzen. Der Marktpreis für Schlempe liegt nach [SLL 2008] derzeit bei ca. 5 €/t FM. Bei diesem Preis ist Schlempe wirtschaftlich für die Biogasproduktion einsetzbar. Das *wirtschaftliche Potenzial* beträgt 35 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 1,3 PJ pro Jahr. Schlempe hat einen Einzugsradius von 3,11 km.

Folgende Abbildung zeigt die Bioethanolproduktionsstandorte mit ihren Einzugsradien und theoretischen Biogaspotenzialen. Die Betriebsstätten sind hauptsächlich im Zentrum und Osten von Deutschland zu finden.

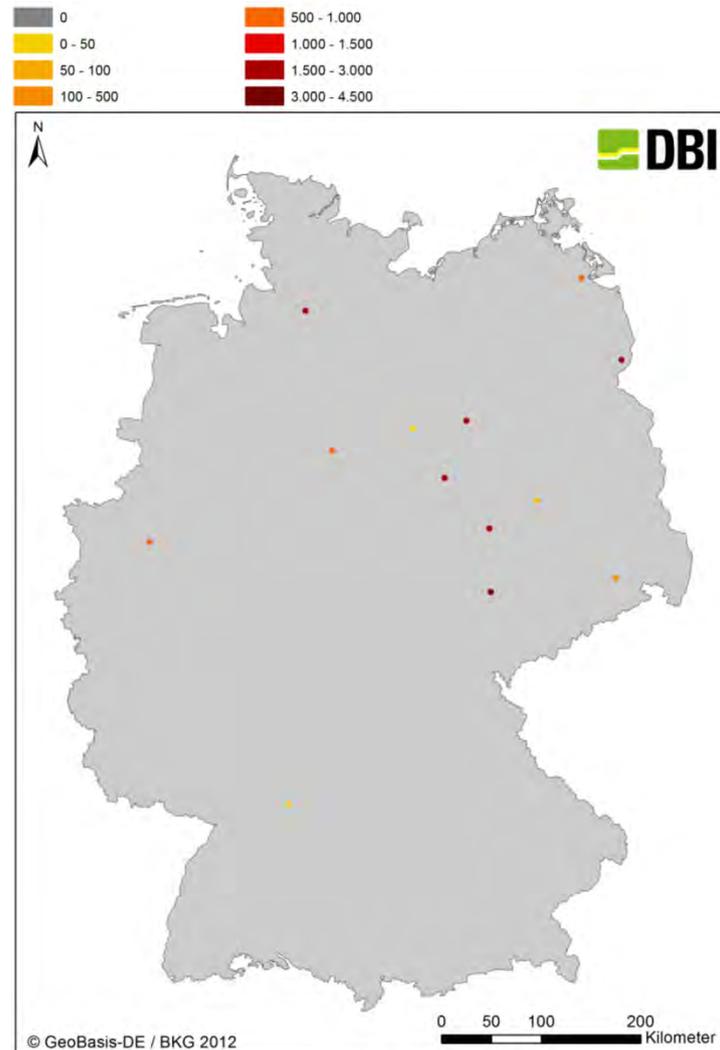


Abbildung 139: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Schlempe in Nm³ CH₄/ha

Da keine weiteren Potenzialstudien existieren, die das Biogaspotenzial aus der Bioethanolherstellung betrachten, können die berechneten Werte nicht mit Referenzdaten verglichen werden.

Prognose Bioethanolproduktion

Die Bioethanolproduktion in Deutschland ist ein Industriezweig, der seit 2005 mehrere Wachstumsphasen erfahren hat. Ziel der Bundesregierung ist die verstärkte Etablierung von Biokraftstoff zur Verminderung der Treibhausgasemissionen. Dies soll sowohl durch die 10 %-Zumischung von Bioethanol zum Benzin, als auch durch den Zuwachs des 85 %igen Bioethanolkraftstoff E85 realisiert werden [BEE 2009]. Mit der Einführung von E10 ab 2011 wurden die Erwartungen einer boomenden Bioethanolproduktion allerdings verfehlt, da die Verbraucher durch den Biosprit Motorschäden und sonstige Schäden im PKW befürchten und daher bis heute nur zögerlich E10 getankt wird. Dies zeigt sich auch in einem Ausbleiben des Anstiegs der Bioethanolproduktion.

Langfristig wird sich laut dem Bundesministerium für Umwelt das Angebot von E10 jedoch durchsetzen (Vorhaltepflcht für bisheriges E5 endet gemäß EU-Richtlinie 2013). Damit ist bis 2030 von einem Zuwachs der Bioethanolproduktion auszugehen [BEE 2009], der für die Prognose anhand des bisherigen Trends abgeschätzt wird. Laut [UFOP 2011] setzt sich der bereits seit 2009 stattfindende Rückgang des Benzinverbrauchs in gleichem Maße fort. Demnach wird die geforderte Absatzmenge an Bioethanol (Quotenregelung, siehe Kapitel 6.4.7) ebenso zurückgehen. In Tabelle 63 sind die prognostizierten Verbrauchswerte für Ottokraftstoff und die geforderten Mengen an Bioethanol gemäß Quote aufgeführt.

Tabelle 63: Entwicklung von Bioethanol und Ottokraftstoff bis 2030 (in Mio. t)

Kraftstoff	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020	2030
Benzin	19,6	19,2	18,8	18,3	17,8	17,3	14,8	10,0
Quote (%)	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,00	8,00
Bioethanol	2,02	2,05	2,08	2,09	2,10	2,11	1,81	1,22

Bei Fortsetzung der Produktionsentwicklung in Koppelung mit der Quotenforderung wird die Herstellung von Bioethanol bis 2030 auf einen Umfang von ca. 374.500 t absinken (2015: 647.900 t; 2020: 554.300 t). Zur Deckung der geforderten Absatzmengen sind schon seit 2005 in Deutschland Importe erforderlich, die bis 2015 entsprechend ansteigen werden. In Abbildung 140 ist die Entwicklung der Bioethanolproduktion einschließlich dessen Absatzforderung mit dem prognostizierten Benzinverbrauch gegenüber gestellt.

Schlempe als Nebenprodukt wird der Prognose zufolge bis 2030 einen Rückgang erfahren und deshalb dessen Biogaspotenzial abnehmen.

Die Regionalisierung der Prognose der Bioethanolproduktion erfolgt analog zur Vorgehensweise von Biodiesel (Abbildung 141). Damit werden zunächst die erforderlichen Getreidemengen (Weizen, Roggen, Triticale) errechnet und ebenfalls auf alle Ackerflächen in Deutschland verteilt. Hohe Fruchtbarkeitswerte der Böden bewirken erneut ein hohes Potenzial im nord- und mitteldeutschen Raum, aber auch in bestimmten Regionen von Süddeutschland. Ferner ist der prognostizierte Rückgang deutlich zu erkennen, wobei die Potenziale weiterhin in Mitteldeutschland am größten sind.

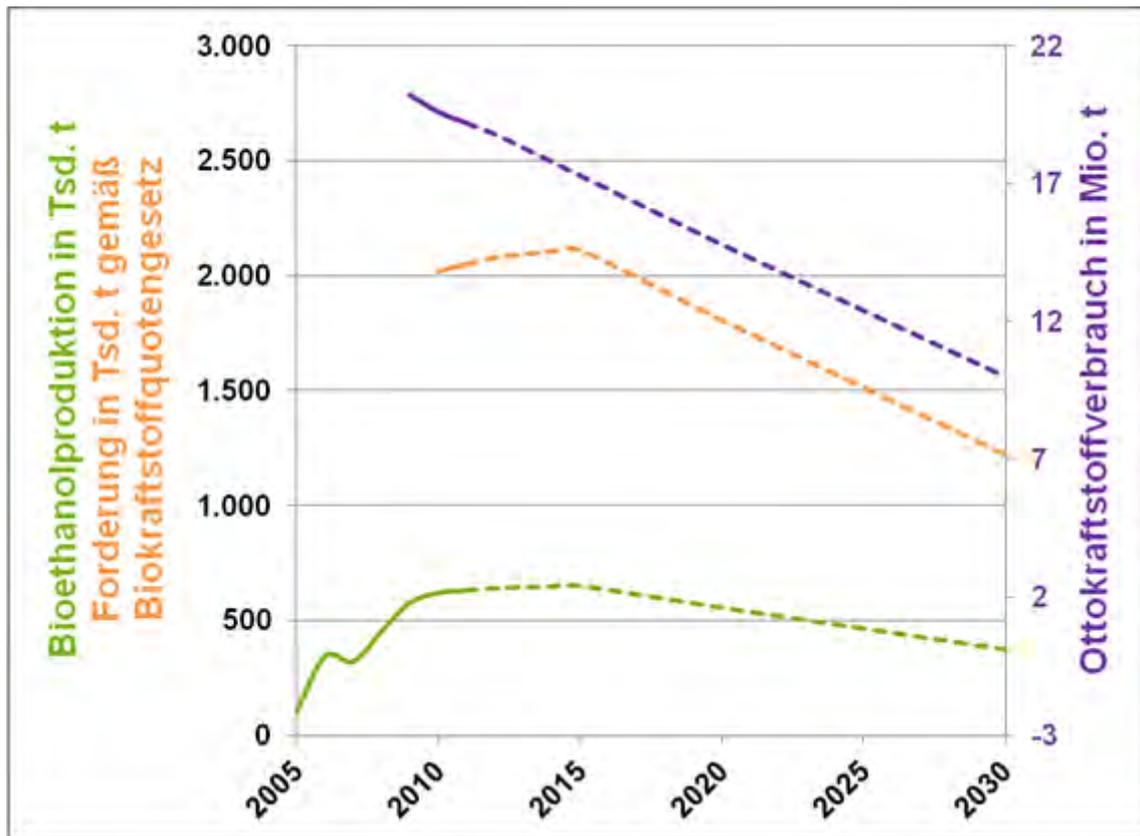


Abbildung 140: Entwicklung und Prognose der Bioethanolproduktion und dessen Absatzforderung gegenüber dem Dieselmotorkraftstoffverbrauch von 2005 bis 2030

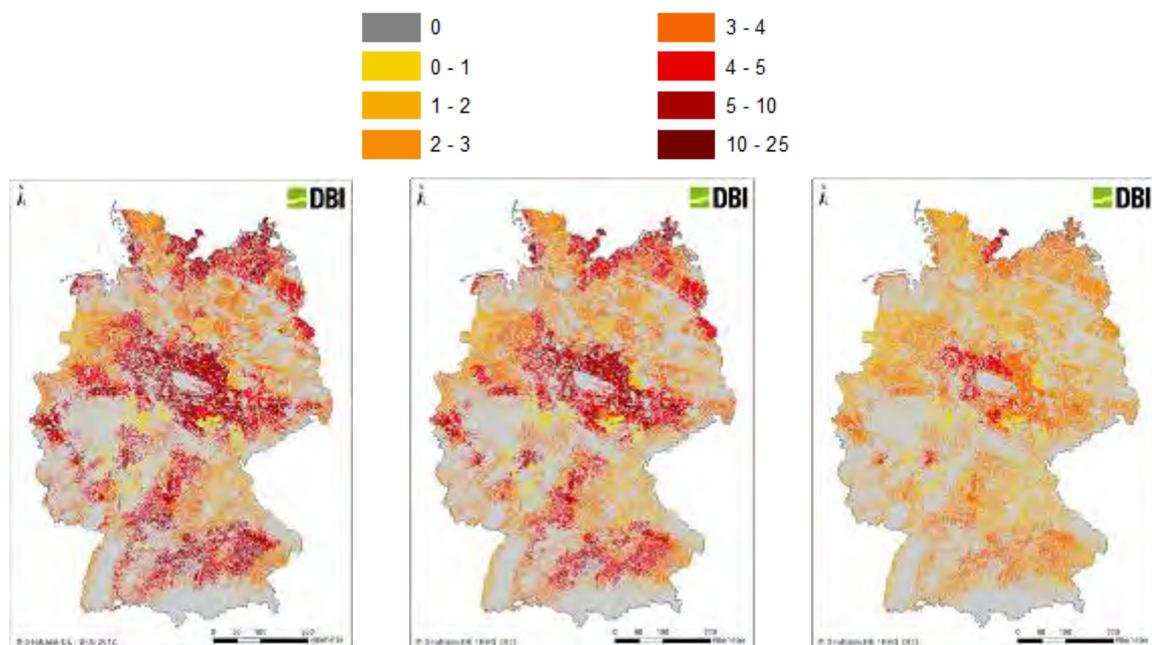


Abbildung 141: Theoretisches Biomethanpotenzial von Schlempe in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.9 Rapsölproduktion

In Deutschland wurden im Jahr 2007/08 unter Berücksichtigung von Im- und Exporten rund 7,6 Mio. t Raps verarbeitet [UFOP 2008], in 2010 waren es hingegen 8,2 Mio. t – Tendenz steigend [OVID 2012]. Dies ist in Abbildung 142 nachzuvollziehen, die die Entwicklung der Rapsverarbeitung in Deutschland zeigt.

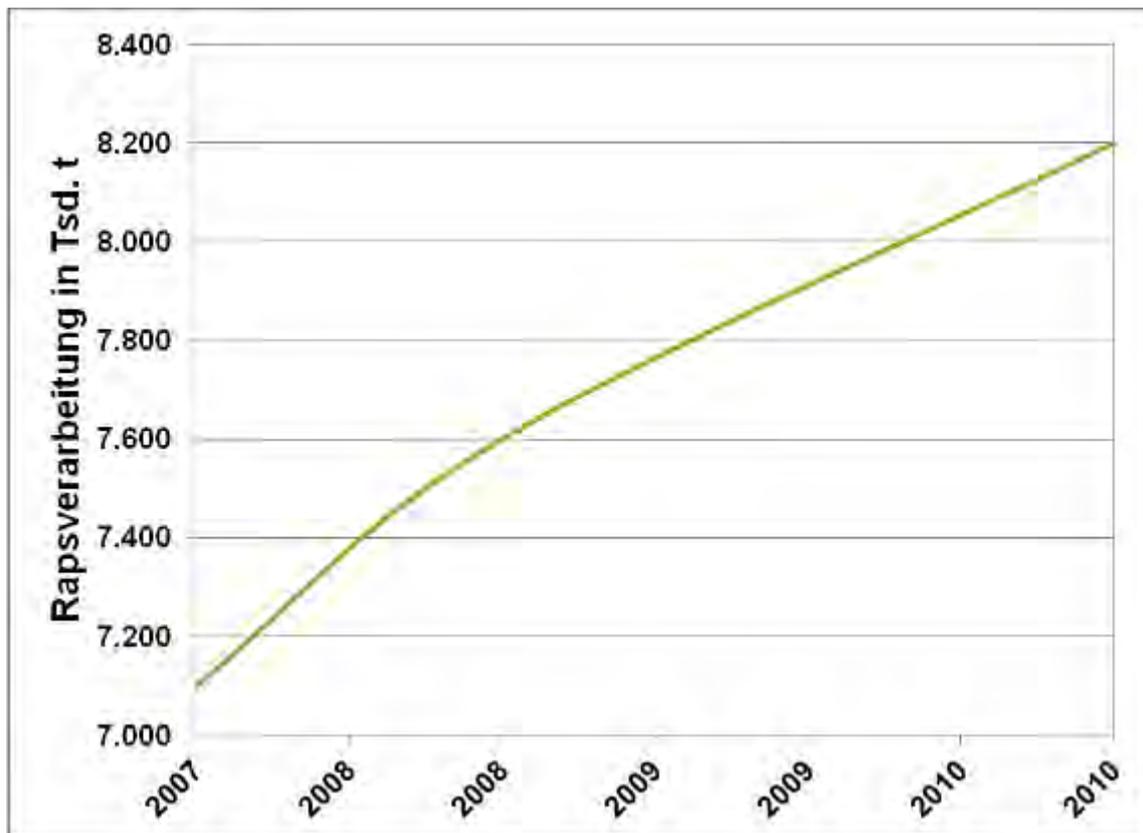


Abbildung 142: Rapsverarbeitung in Deutschland von 2007 bis 2010 [UFOP 2007], [UFOP 2008], [OVID 2012]

Verwendung findet Rapsöl in der Nahrungsmittel- und Biodieselproduktion. Für die 52 in Deutschland ermittelten Anlagen wird kann nach einer Herstellerbefragung eine Gesamtverarbeitungskapazität von 8,4 Mio. t Raps angesetzt werden. Dies entspricht in etwa der in 2010 verarbeiteten Menge an Raps.

Beim Pressen der Rapssaat fallen ca. 70 % der Menge als Rapspresskuchen, Rapsexpeller und Rapsextraktionsschrot an, welche als Biogassubstrat dienen können [TLL 2002].

Auf Grundlage dessen wird das *theoretische Potenzial* ermittelt. Mit Hilfe des spezifischen Methangasertrages von $317 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t FM}$ [BMU 2012a] ergibt sich ein theoretisches Potenzial von 1,3 Mrd. Nm^3 Biomethan bzw. 46,5 PJ pro Jahr.

Beim *technischen Potenzial* werden wiederum Lager-, Transport- und Entnahmeverluste berücksichtigt. Zudem werden ca. 25 % des ursprünglich zur Verfügung stehenden Rapspresskuchens als eiweißreiches Futtermittel exportiert, sodass

sich das *technische Potenzial* wiederum reduziert (berechnet nach [IE 2006]). Insgesamt stehen unter diesen Abzügen 949 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 34,0 PJ pro Jahr für die Biogasproduktion aus den Abfällen der Rapsölproduktion bereit.

Mit über 80 % oTS-Gehalt nach [FNR 2010] ist es nicht nötig Rapspresskuchen aufzukonzentrieren, um diesen wirtschaftlich sinnvoll in deiner Biogasanlage einzusetzen. Jedoch ist der Bezug nur zu hohen Preisen (175 €/t Substrat nach [FNR 2010]) von den Rapsölproduzenten möglich, da der eiweißreiche Rapspresskuchen bevorzugt als Futtermittel eingesetzt wird. Rapspresskuchen ist somit zurzeit nicht wirtschaftlich als Biogassubstrat einsetzbar – es existiert kein *wirtschaftliches Potenzial*. Der maximal wirtschaftliche Transportradius liegt aufgrund des hohen spezifischen Methangasertrages bei 44,86 km.

Folgende Abbildung zeigt die deutschlandweite Verteilung aller Rapsölproduktionsstätten.

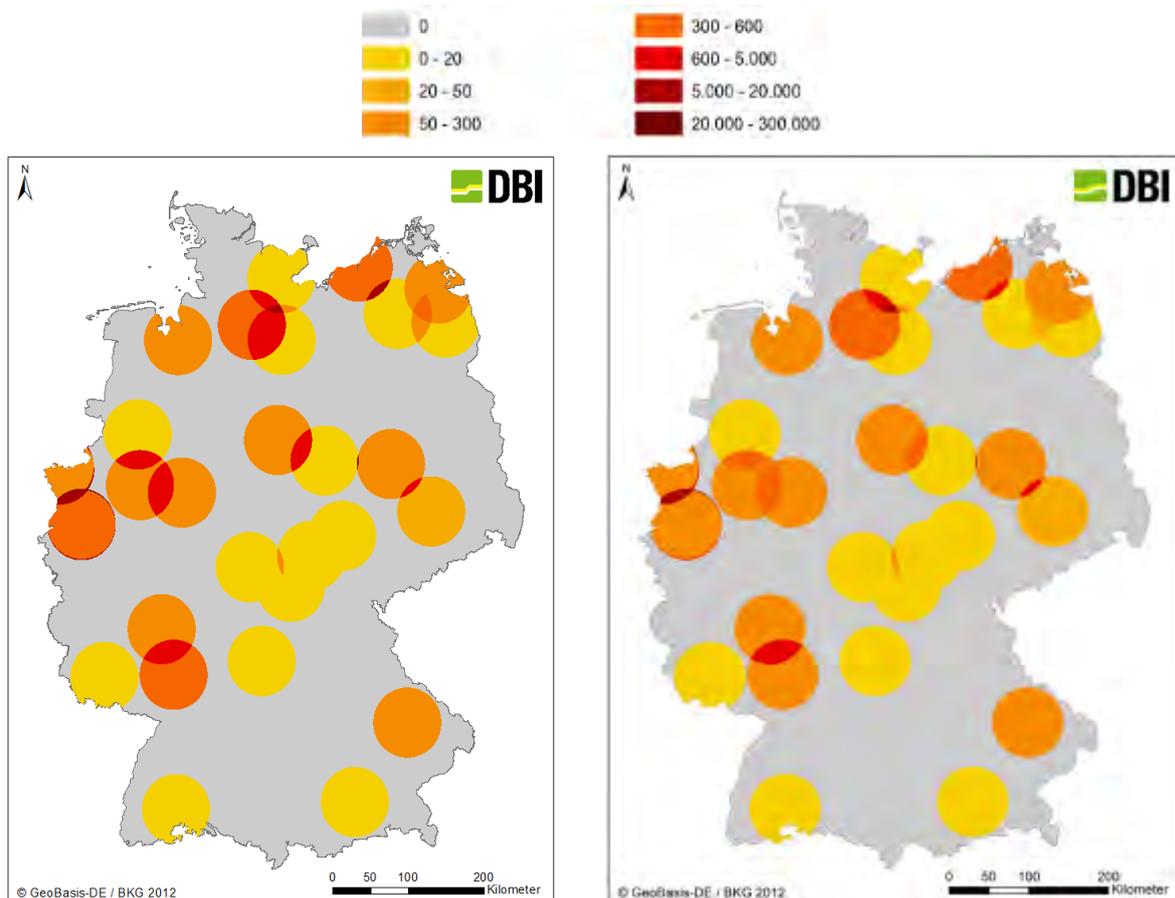


Abbildung 143: Theoretisches Biomethanpotenzial aus Rapspresskuchen in Nm³ CH₄/ha

Da Rapspresskuchen aktuell kein wirtschaftlich lohnendes Substrat ist, entfällt die Darstellung eines wirtschaftlichen Potenzials.

Vergleichbare Studien geben hingegen ein wirtschaftliches Potenzial von 76,8 Mio. Nm³ Biomethan bzw. 2,75 PJ pro Jahr und 78,2 Mio. Nm³ Biomethan pro Jahr (2,79 PJ pro Jahr) an ([SCHOLWIN 2007], [BMU 2008]). Dabei wird von den

gegebenen Verarbeitungsrückständen neben dem Exportverlust von 25 % angenommen, dass 10 % des verbleibenden Rapspresskuchens für die Biogaserzeugung verwendet werden kann. Weiterhin wird kein nach Deutschland importierter Raps betrachtet (nach [OVID 2012] 28 % der verarbeiteten Rapssaat in 2010).

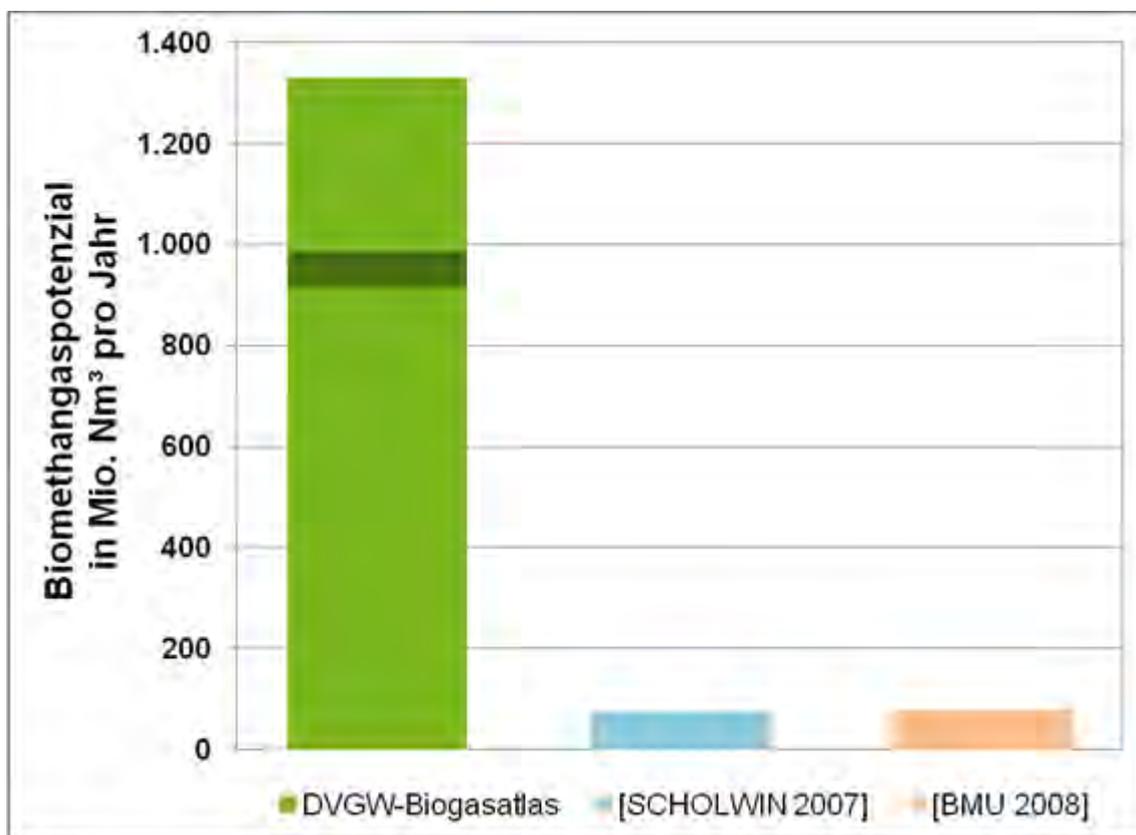


Abbildung 144: Biomethangaspotenzial aus Rapspresskuchen im Vergleich mehrerer Studien (Säule: theoretisches Potenzial, wenn angegeben; Linie: technisches Potenzial, wenn angegeben; Schraffur: wirtschaftliches Potenzial, wenn angegeben)

Prognose Rapsölproduktion

Der Rapsanbau und die Rapsölproduktion haben sich in den vergangenen Jahren in Deutschland gesteigert. Im Vergleich der Werte von 2010 und 2007 liegt die verarbeitete Menge an Raps ca. 15 % höher. Neben der Verwendung im Nahrungsmittelbereich stellt der Einsatz des Rapsöls zur Herstellung von Biodiesel den Hauptverwendungszweck dar. Für diesen Nutzungspfad ist angesichts der zukünftigen Steigerung des Anteils von Biodieselmotoren (Produktionsentwicklung, siehe Kapitel 5.7) auch ein weiterer Anstieg in der Rapsverarbeitung zu erwarten. Das Potenzial für Rapspresskuchen wächst ebenfalls an. In Abbildung 145 ist die Prognose bis 2030 dargestellt. Die Abschätzung sagt für 2030 eine Verarbeitung von etwa 9,9 Mio. t Raps voraus (2015: 9,0 Mio. t; 2020: 9,5 Mio. t).

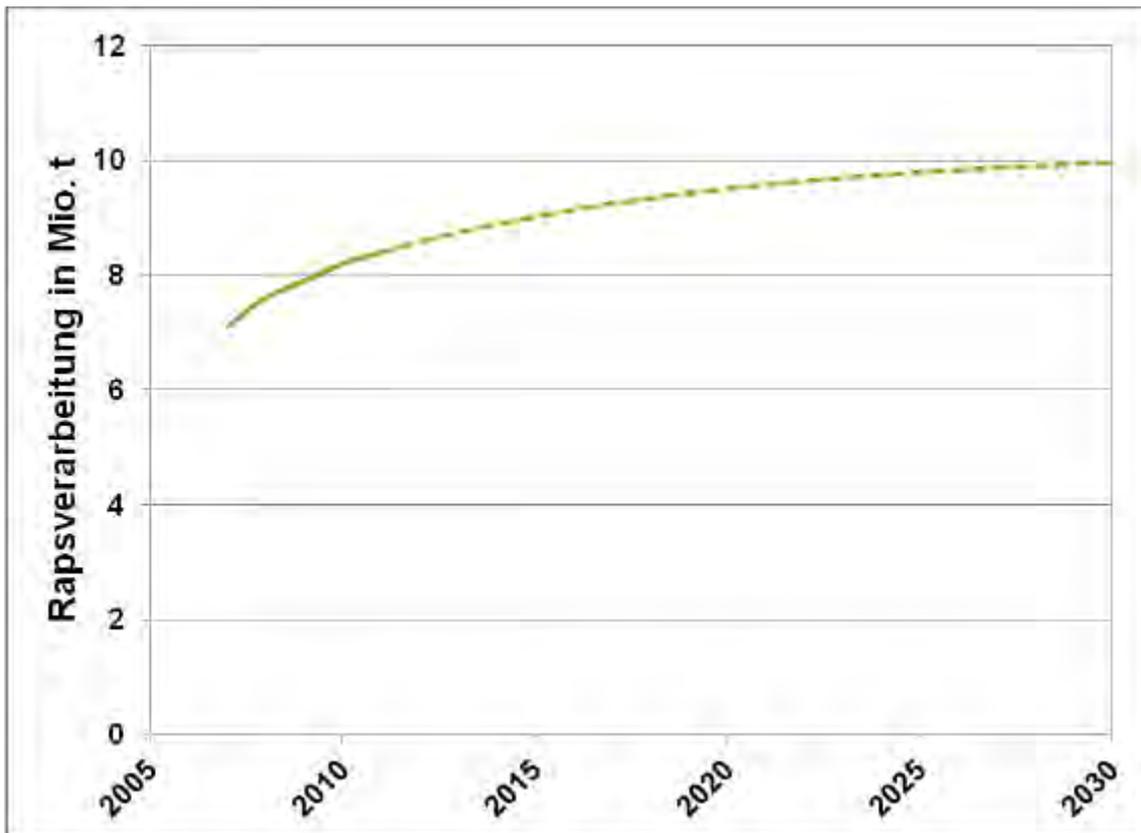


Abbildung 145: Entwicklung und Prognose der Rapsverarbeitung von 2007 bis 2030

Genauso wie bei den Regionalprognosen zu den Biokraftstoffen erfolgt die Herleitung über den eingesetzten Rohstoff bzw. dessen Ernteaufkommen. Für die Rapsölproduktion wird erneut der Winterraps betrachtet (vgl. Biodiesel, Kapitel 6.4.7). Der Unterschied besteht hier in den höheren Verarbeitungsmengen der Rapssaat und dem größeren Methangasertrag des Rapspresskuchens. Dadurch ergeben sich insgesamt höhere spezifische Potenzialzahlen bezogen auf die Ackerflächen. Dennoch befinden sich die größeren Potenziale wieder im nord- und mitteldeutschen Raum. Dort ist der Zuwachs des Biomethanpotenzials am stärksten zu erwarten.

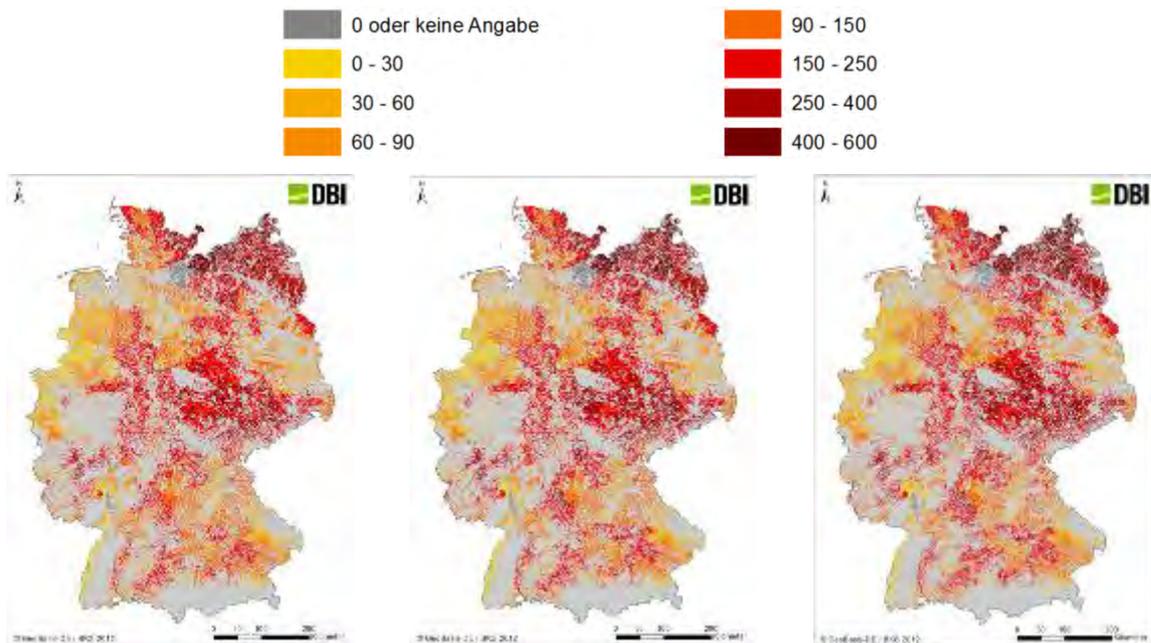


Abbildung 146: Theoretisches Biomethanpotenzial von Rapspresskuchen in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.4.10 Summenpotenzial Industrie IST-Zustand

In Abbildung 147 ist das theoretische, technische und nachhaltige bzw. wirtschaftliche Summenpotenzial aus allen betrachteten industriellen Einsatzstoffen abgebildet. Das industrielle Biomethanpotenzial ist stark abhängig von den Standorten des Substratanfalls. Gebiete mit einer hohen Standortanzahl und einer entsprechenden Standortdichte weisen somit höhere Potenziale als andere Gebiete aus. Deutlich zu sehen ist, dass die Substrate mit großen Potenzialen und Einzugsradius keine wirtschaftlich sinnvollen Biogasanlagensubstrate sind, da die Substratbezugspreise zu hoch sind. Die größten wirtschaftlichen Biomethangaspotenziale konzentrieren sich auf den Nordwesten und den Südosten der Bundesrepublik. Speziell für Berlin liegen nur unzureichend Daten vor, sodass kein flächendeckendes Potenzial ausgewiesen werden kann. Im übrigen Deutschland liegt ein flächendeckendes Potenzial aufgrund der Datenbasis für Molke (Landkreisebene) sowie Schlachtabfälle und Biertreber (teilweise Bundesalandebene) vor.

Das deutschlandweite theoretische Biomethanpotenzial aus industriellen Reststoffen beträgt 2.325 Mio. Nm^3 Biomethan pro Jahr bzw. 83 PJ pro Jahr, das technische Potenzial 1.175 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 64 PJ pro Jahr und das wirtschaftliche 669 Mio. Nm^3 Biomethan bzw. 24 PJ pro Jahr.

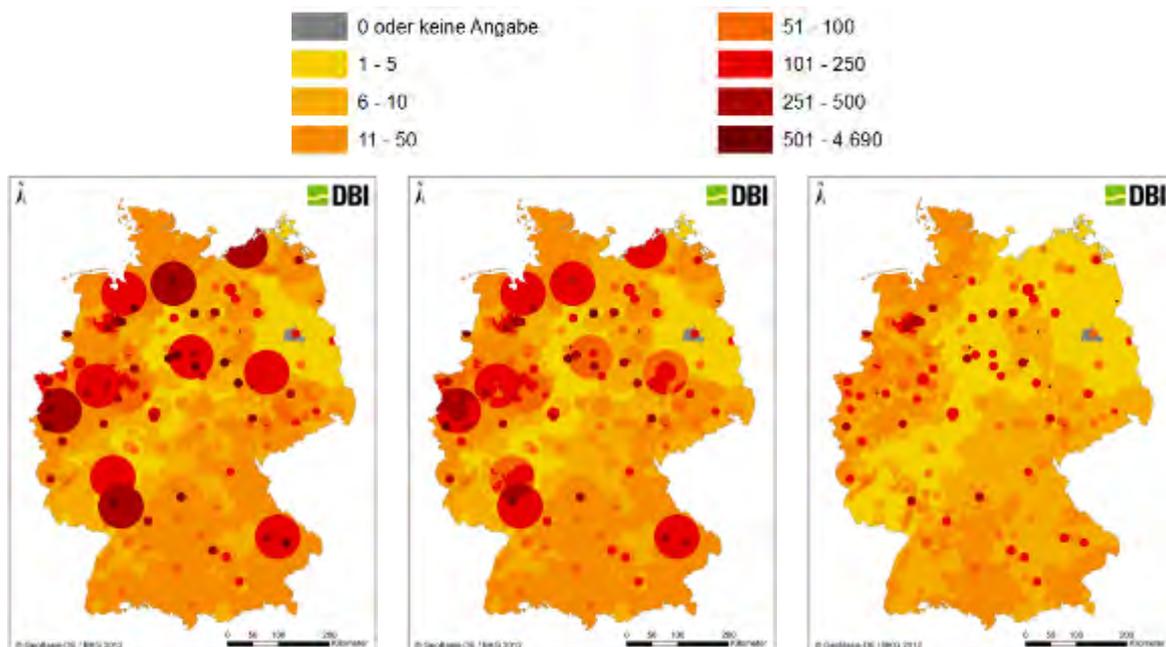


Abbildung 147: Theoretisches (links), technisches (Mitte) und wirtschaftliches (rechts) Summenpotenzial industrieller Einsatzstoffe in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$

6.4.11 Summenpotenzial Industrie Prognose

Abgeleitet vom IST-Zustand ist in Abbildung 148 das theoretische Summenpotenzial aus allen betrachteten industriellen Einsatzstoffen für die Jahre 2015, 2020 und 2030 abgebildet. Das technische und wirtschaftliche Summenpotenzial ist im Anhang zu finden.

Die Änderung des Summenpotenzials bis 2030 im Vergleich zum jetzigen Zeitpunkt ist nach dem betrachteten Potenzial zu unterscheiden. Während das theoretische eine Steigerung um 35 % aufzeigt, sinkt das wirtschaftliche Potenzial um etwa 7 %. Ursache hierfür liegt in der Prognose des Biomethanpotenzials aus Rapspresskuchen. Die prognostizierte Steigerung der Rapsverarbeitung von über 65 % findet sich nur im theoretischen und technischen Potenzial wieder, da auch zukünftig davon ausgegangen wird, dass dieses Substrat nicht wirtschaftlich in Biogasanlagen einsetzbar ist. Außer Weintrester und der milchverarbeitenden Industrie weisen alle übrigen Industriezweige einen Rückgang auf.

Neben den verwendeten Standorten zum momentanen Zeitpunkt zeigen vor allem Mecklenburg-Vorpommern und der Osten Deutschlands ein hohes prognostiziertes Potenzial aus industriellen Reststoffen auf.

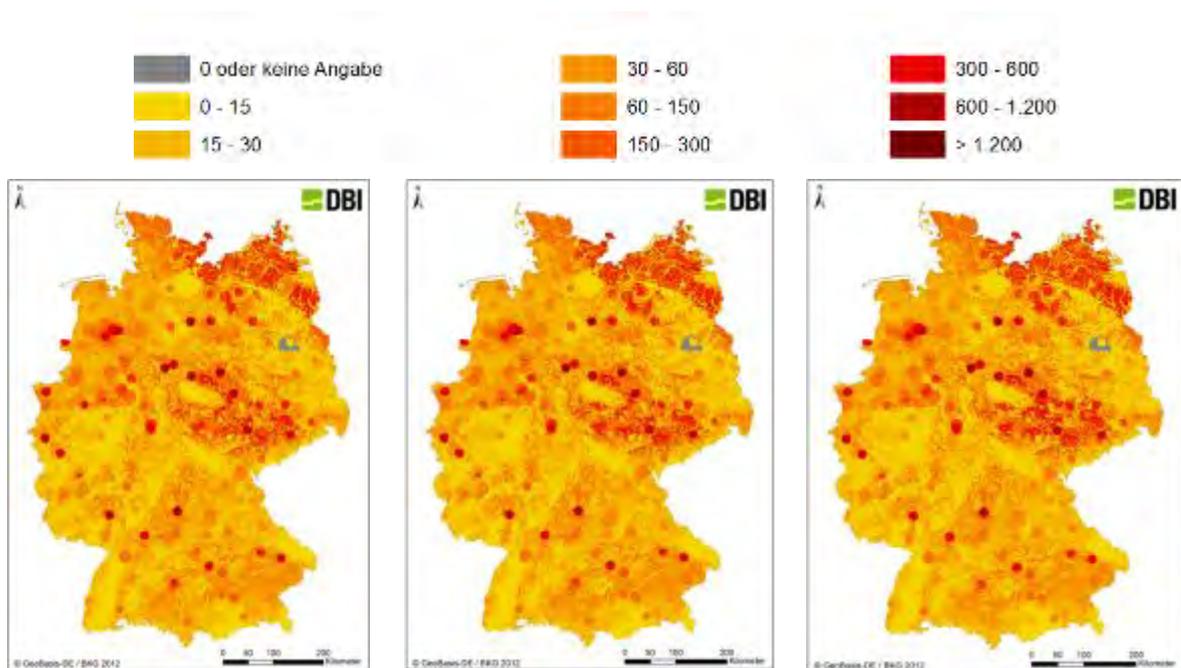


Abbildung 148: Theoretisches Summenpotenzial industrieller Reststoffe in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts)

6.5 Gesamtpotenzial

Zur Ermittlung des Gesamtpotenzials werden die Substrate der Bereiche Landwirtschaft, Industrie und Kommune miteinander verrechnet. Die dabei addierten flächenspezifischen Biomethangaserträge sind in Abbildung 149 dargestellt. Über die jeweilige Fläche kann der Absolutbetrag jeder einzelnen Fläche bestimmt werden. Das Aufsummieren dieser einzelnen Absolutbeträge, liefert das gesamtdeutsche Biogaserzeugungspotenzial.

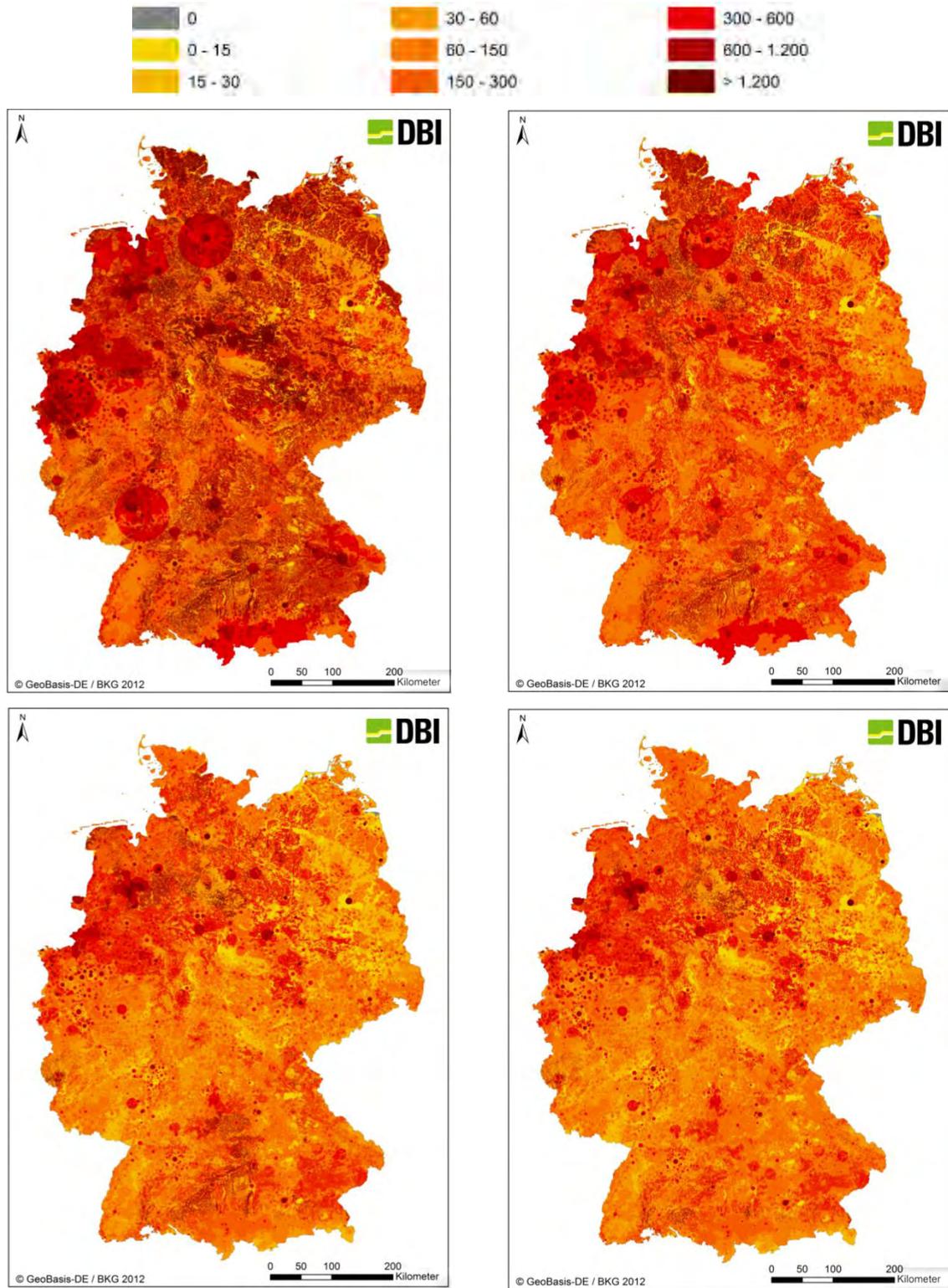


Abbildung 149: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Summenpotenzial der Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ (von links nach rechts und oben nach unten) aller betrachteten Einsatzstoffe in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ im IST-Stand

Die Abstufung zwischen theoretischem, technischem und nachhaltig/ wirtschaftlichem Potenzial ist wie bei den Einzelbetrachtungen der Substrate auch im Summenpotenzial erkennbar. Für die Bundesrepublik ist ein flächendeckendes Biome- thanpotenzial auszuweisen. Aktuell zeigt sich eine besonders hohe Potenzialdichte im Nordwesten Deutschlands. Ursache hierfür ist einerseits ein aktuell stark betriebener Maisanbau, welche die Nachhaltigkeitskriterien jedoch nicht erfüllt, und zum anderen eine verstärkte Tierhaltung. Besonders die Tierzahlen haben Einfluss auf das Potenzial aus tierischen Exkrementen und das wirtschaftliche Strohpotenzial. Desweiteren herrscht in dem benannten Gebiet eine mit der Tierhaltung einhergehende Infrastruktur für die Tierverarbeitung vor. Die hohe Anzahl an Schlachtbetrieben erhöht das Potenzial weiter. Die zukünftige Entwicklung der einzelnen Regionen ist im nachfolgenden Unterkapitel „Prognose“ dargestellt. Daraus ist ersichtlich wie sich die Schwerpunktreionen voraussichtlich verschieben werden.

Unterstellt man einen nachhaltigen Anbau (Szenario „Nachhaltige Entwicklung“, vgl. Kapitel 6.2.2) von Energiepflanzen (Mais) so zeigt sich folgendes Bild.

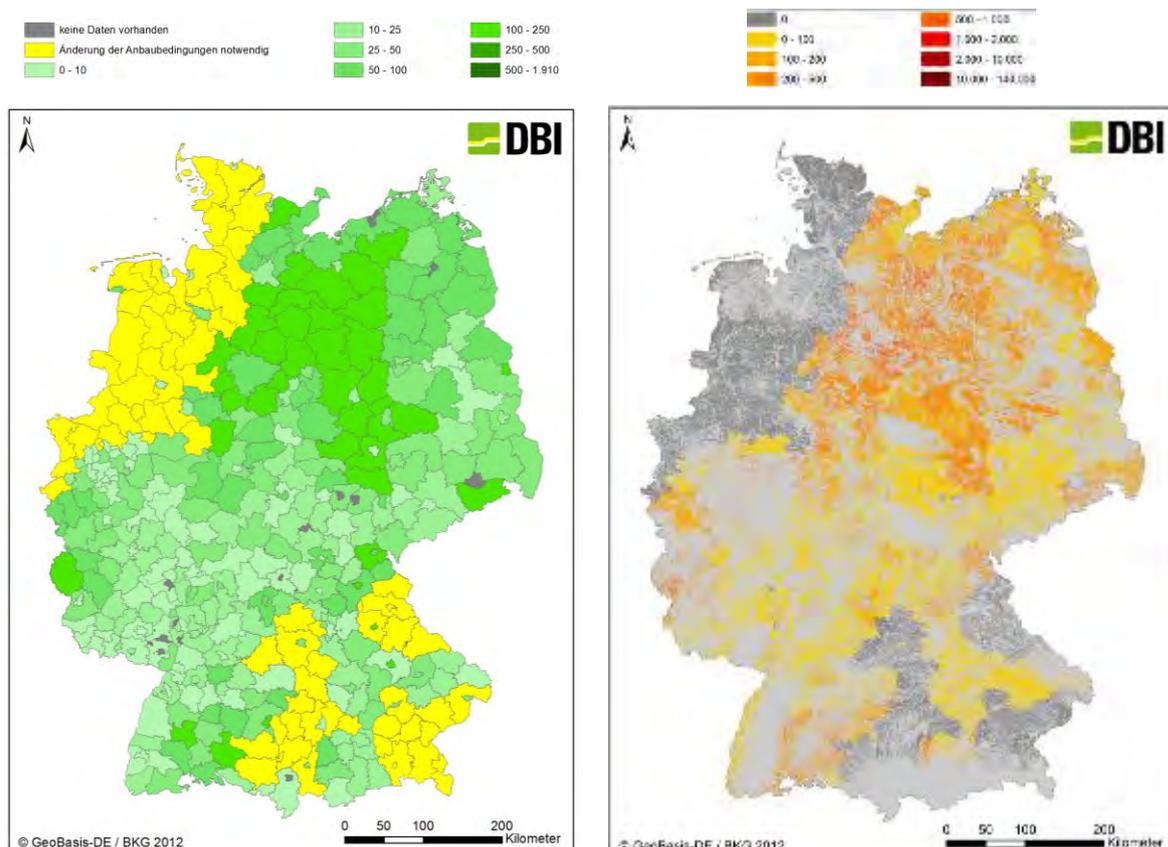


Abbildung 150: Nachhaltiges Potenzial von Mais in Nm³ CH₄/ha auf Landkreisebene (links) und Ackerflächen (rechts)

Das Ergebnis verdeutlicht, dass im Nordwesten Deutschlands sowie Teilen Bayerns und Baden-Württembergs der derzeitige Energiepflanzenanbau (Mais) die im Rahmen dieser Studie definierten Nachhaltigkeitskriterien nicht erfüllt. In den betroffenen Regionen ist demnach der Anbau von Energiemais erheblich zu reduzie-

ren und zu prüfen inwieweit der Silomaisanbau für Futtermittel verringert werden muss.

Von Rheinland-Pfalz bis Berlin zieht sich ein Band, welches gebietsweise niedrige Potenziale aufweist. Ursache hierfür sind vor allem topografische Gegebenheiten. So werden in den Potenzialkarten die Mittelgebirge wie Harz und Thüringer Wald infolge geringer Potenziale sichtbar. Aufgrund der in höheren Lagen schlechteren klimatischen Bedingungen sinken die Ernteerträge. Dies hat direkten Einfluss auf das landwirtschaftliche Potenzial. Weiterhin finden sich in strukturschwachen Regionen weniger Industriestandorte wieder, wodurch auch die Menge potenzieller Substrate für Biogasanlagen sinkt. Des Weiteren ist in ländlichen Gebieten wie beispielsweise Brandenburg die Bevölkerungsdichte gering, sodass auch das kommunale Potenzial abnimmt.

Tabelle 64 listet neben den Summen- auch das deutschlandweite substratspezifische Potenzial auf. Den größten Anteil am Gesamtpotenzial haben die landwirtschaftlichen Substrate, dabei besonders Gülle und Mais. Industrielle und kommunale Reststoffe liefern jeweils ca. 11 % des wirtschaftlichen Gesamtpotenzials. Während das wirtschaftliche Biomethanpotenzial industrieller und kommunaler Reststoffe eine gleiche Größenordnung aufweist, beträgt das theoretische Potenzial der industriellen Substrate über das Doppelte der kommunalen Substrate. Ursache ist die unwirtschaftliche Verwendung von Melasse, Rohglycerin und Rapspresskuchen in Biogasanlagen. Diese Substrate haben kein wirtschaftliches Biomethanpotenzial womit das wirtschaftliche Summenpotenzial der Industrie stark absinkt.

Sowohl industrielle als auch kommunale Reststoffe und die daraus resultierenden Potenziale haben jedoch die Besonderheit, dass sie aufgrund von Produktionsprozessen u. ä. unabhängig vom Bedarf einer Biogasanlage vorliegen. Somit benötigt es ausschließlich einer wirtschaftlich sinnvollen Nutzung des vorhandenen Potenzials. Aus diesem Grund liegen auch beispielsweise die Abzüge vom theoretischen über das technische hin zum wirtschaftlichen Potenzial bei kommunalen Reststoffen tendenziell unter den Werten aus Industrie und Landwirtschaft. Die Folge ist ein Anstieg des Anteils der kommunalen Reststoffe am Gesamtpotenzial vom theoretischem zum wirtschaftlichen.

Tabelle 64: Deutschlandweite Biomethanpotenziale aller Substrate im IST-Stand

Substrat	Biomethanpotenzial					
	theoretisch		technisch		wirtschaftlich (Szenario „Nachhaltige Entwicklung“)	
	Mio. Nm ³ CH ₄ /a	%	Mio. Nm ³ CH ₄ /a	%	Mio. Nm ³ CH ₄ /a	%
Landwirtschaft	15.006	81	8.232	77	5.016	79
Tierische Exkremente/ Gülle	2.257	12	1.631	15	1.631	26
Mais	3.073	17	2.705	25	1.491	23
Dauergrünland	1.859	10	1.636	15	500	8
Stroh	7.234	39	2.162	20	1.298	20
Blatt	583	3	98	1	98	2
Industrie	2.325	13	1.775	17	669	11
Biertreber	157	1	145	1	117	2
Weintrester	11	<1	10	<1	9	<1
Schlachtreste	223	1	206	2	206	3
Molke	186	1	171	2	128	2
Zuckerrübenschnitzel, Melasse	238	1	129	1	102	2
Kartoffelschalen	83	<1	76	1	72	1
Rohglycerin	45	<1	42	<1	0	0
Schlempe	50	<1	46	<1	35	1
Rapspresskuchen	1.331	7	949	9	0	0
Kommune	1.150	6	688	6	677	11
Biotonne	319	2	285	3	285	4
Grünschnitt	202	1	180	2	180	3
Restmüll	451	2	108	1	108	2
Speisereste	104	1	93	1	83	1
Supermarktreste	31	<1	14	<1	12	<1
Straßenbegleitgrün	43	<1	8	<1	8	<1
Gesamtpotenzial	18.481	100	10.695	100	6.363 ¹⁹	100

¹⁹ zum Vergleich: im Szenario „business as usual“ beträgt das wirtschaftliche Biomethanpotenzial 6.915 Mio. Nm³ CH₄/a

Prognose

Für die Jahre 2015, 2020 und 2030 zeigt sich in Summe beim theoretischen, technischen und wirtschaftlichen Potenzial ein stetiges Wachstum. Betrachtet man die Bereiche Landwirtschaft, Industrie und Kommune getrennt, so zeigen sich Unterschiede in den Entwicklungen. Eine Übersicht der ermittelten Gesamtpotenziale für die Prognosejahre zeigt Tabelle 65.

Die Entwicklung der Potenziale wird durch gesetzte Szenario-Bedingungen insbesondere zu den Flächenbedarfen der Landwirtschaft bestimmt. Diese gehen auf Vorgängerstudien zurück [BMU 2004a], [BMU 2004b] [BMBF 2009]. In diesen Studien wurden die grundlegenden Szenario-Daten (u.a. Bevölkerungsentwicklung, Nahrungsmittelkonsum pro Kopf, Selbstversorgungsgrade, Futtermittelbedarfe, Flächenverwendung, Flächenerträge) analysiert. Bei den landwirtschaftlichen Substraten zeigt sich eine deutliche Potenzialerhöhung bis 2030. Die Ursache hierfür liegt in der Entwicklung des Maisanbaus und der steigenden zur freien Verfügung stehenden Dauergrünlandfläche. In Bezug auf den Maisanbau ist zu sagen, dass die zukünftige Potenzialermittlung die beschriebenen Nachhaltigkeitsfaktoren berücksichtigt. Das Wachsen der Maisanbaufläche ist somit nicht gleichmäßig über Deutschland verteilt, sondern Regionen mit einer Verringerung (unter Umständen bis auf null) stehen Regionen mit einem Zubau gegenüber. Sinkende Tierzahlen haben einen positiven Einfluss auf das Biomethanpotenzial aus Dauergrünland, da der Futterbedarf dieses Substrates damit sinkt. Gleichzeitig ist der Rückbau von Dauergrünland durch die EU beschränkt, sodass eine Mindestfläche in Deutschland erhalten bleibt. In Verbindung mit den sinkenden Tierzahlen, nimmt auch das Potenzial aus tierischen Exkrementen bis 2030 ab.

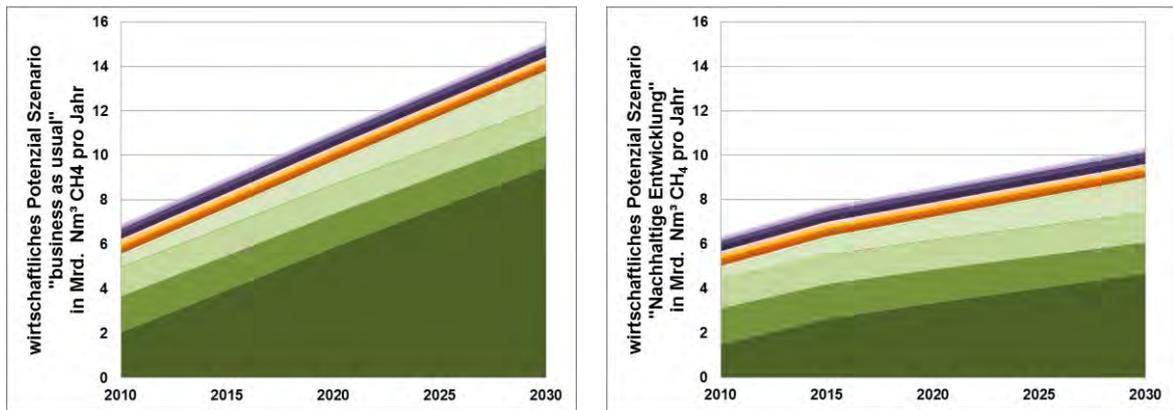


Abbildung 151: Entwicklung des wirtschaftlich/ nachhaltigen Biomethanpotenzials für landwirtschaftliche (grün), industrielle (orange) und kommunale (violett) Reststoffe in den Szenarien „business as usual“ (links) und „Nachhaltige Entwicklung“ (rechts)

Tabelle 65: Deutschlandweite prognostizierte Biomethanpotenziale aller Substrate (Szenario: „Nachhaltige Entwicklung“)

Substrat	Biomethanpotenzial in Mio. Nm ³ CH ₄ /a								
	2015			2020			2030		
	theoret.	techn.	nach./ wirt.	theoret.	techn.	nach./ wirt.	theoret.	techn.	nach./ wirt.
Landwirtschaft	17.169	10.226	6.345	18.620	11.519	7.232	21.287	13.888	8.989
Tierische Exkremente/Gülle	2.152	1.564	1.564	2.063	1.508	1.508	1.901	1.407	1.407
Mais	4.123	3.628	2.648	5.229	4.601	3.359	7.284	6.410	4.680
Dauergrünland	2.281	2.008	733	2.596	2.284	969	3.169	2.789	1.509
Stroh	8.112	2.943	1.316	8.274	3.048	1.319	8.561	3.221	1.332
Blatt	501	84	84	458	77	77	371	62	62
Industrie	2.986	2.245	662	3.072	2.303	649	3.127	2.336	620
Biertreber	144	132	107	131	121	98	107	99	80
Weintrester	11	10	9	12	11	10	14	13	11
Schlachtreste	223	206	206	223	206	206	222	205	205
Molke	190	175	131	194	178	134	200	184	138
Zuckerrübenschnitzel, Melasse	236	128	101	234	127	100	226	123	97
Kartoffelschalen	82	76	71	81	75	70	79	73	68
Rohglycerin	45	41	0	44	40	0	40	37	0
Schlempe	52	48	37	45	41	31	30	28	21
Rapspresskuchen	2.001	1.427	0	2.109	1.504	0	2.209	1.576	0

Tabelle 65: Deutschlandweite prognostizierte Biomethanpotenziale aller Substrate (Szenario: „Nachhaltige Entwicklung“) (Fortsetzung)

Substrat	Biomethanpotenzial in Mio. Nm ³ CH ₄ /a								
	2015			2020			2030		
	theoret.	techn.	nach./ wirt.	theoret.	techn.	nach./ wirt.	theoret.	techn.	nach./ wirt.
Kommune	1.174	720	709	1.177	718	705	1.194	744	730
Biotonne	336	301	301	345	309	309	359	321	321
Grünschnitt	222	199	199	227	203	203	235	211	211
Restmüll	427	102	102	406	79	79	389	76	76
Speisereste	105	94	84	112	100	89	122	109	97
Supermarktreste	39	17	15	39	17	15	40	17	15
Straßenbegleitgrün	46	9	9	47	9	9	49	9	9
Gesamtpotenzial	21.329	13.191	7.716	22.869	14.539	8.585	25.608	16.968	10.339

Im industriellen Bereich sinkt das Biomethanpotenzial bis 2030 leicht ab. Der stärkste Rückgang ist bei Biertreber und Getreideschlempe zu verzeichnen. Speziell für Bier ist seit 1990 sowohl beim Ausstoß als auch beim Pro-Kopf-Verbrauch ein stetiger Rückgang erfolgt. Die Fortschreibung dieses Trends lässt das wirtschaftliche Biomethanpotenzial bis 2030 um etwa 32 % sinken. Für Getreideschlempe als Nebenprodukt der Bioethanolproduktion zeigt sich ein sinkendes zukünftiges Potenzial aufgrund eines stetig fallenden Kraftstoffverbrauches. Dennoch weisen nicht alle industriellen Substrate diesen Trend auf. Sowohl das Biomethanpotenzial aus Molke als auch aus Weintrester wachsen über die Jahre an. Auf die Milchverarbeitung haben verschiedene Faktoren Einfluss. Trotz sinkender Milchkuhbestände steigt die erzeugte Frischmilch aufgrund steigender Milchleistungen. Somit ist eine steigende Tendenz bis 2030 zu verzeichnen. Der Anfall von Weintrester ist stark von den jährlichen Ernteerträgen abhängig. Diese können je nach meteorologischen Gegebenheiten stark schwanken. Somit sind zukünftige Erträge schwer auszuweisen. In Anlehnung an einen weltweit steigenden Weinbedarf und dem daraus in Deutschland leicht zunehmenden Weinanbau steigt auch das Biomethanpotenzial. Die weiteren industriellen Substrate weisen ein leicht rückläufiges Biomethanpotenzial aus bzw. sind aufgrund des Preises auch zukünftig nicht wirtschaftlich in Biogasanlagen vergärbär (z.B. Rapspresskuchen, Rohglycerin, Melasse).

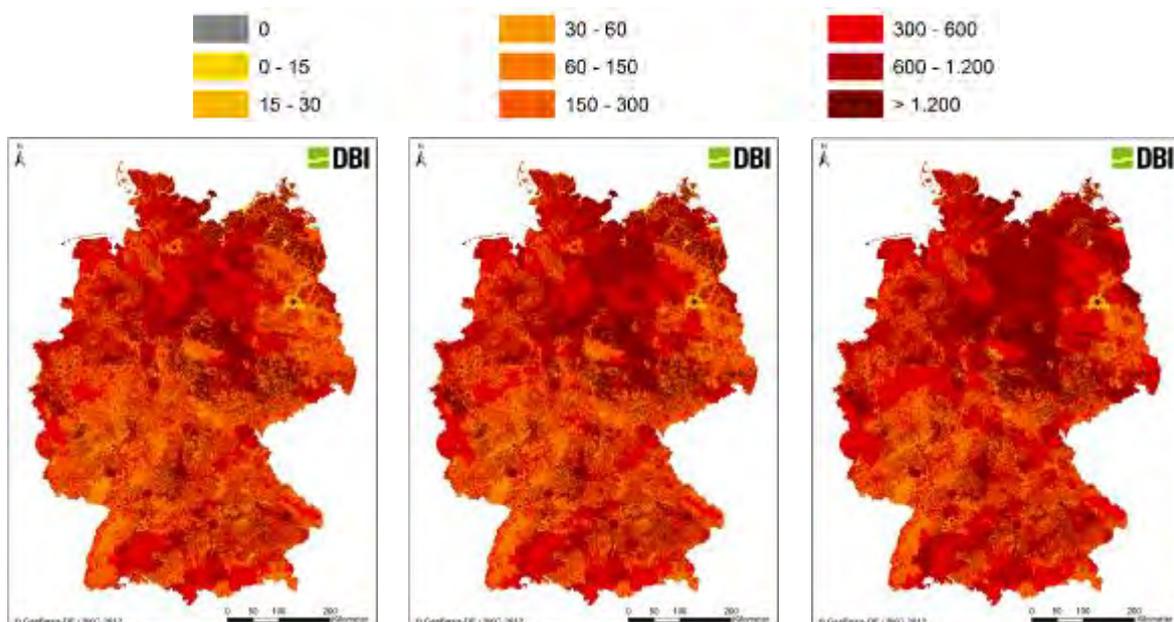


Abbildung 152: Theoretisches Summenpotenzial aller betrachteten Substrate in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts) unter Berücksichtigung des Szenarios „Nachhaltige Entwicklung“ für den Maisanbau

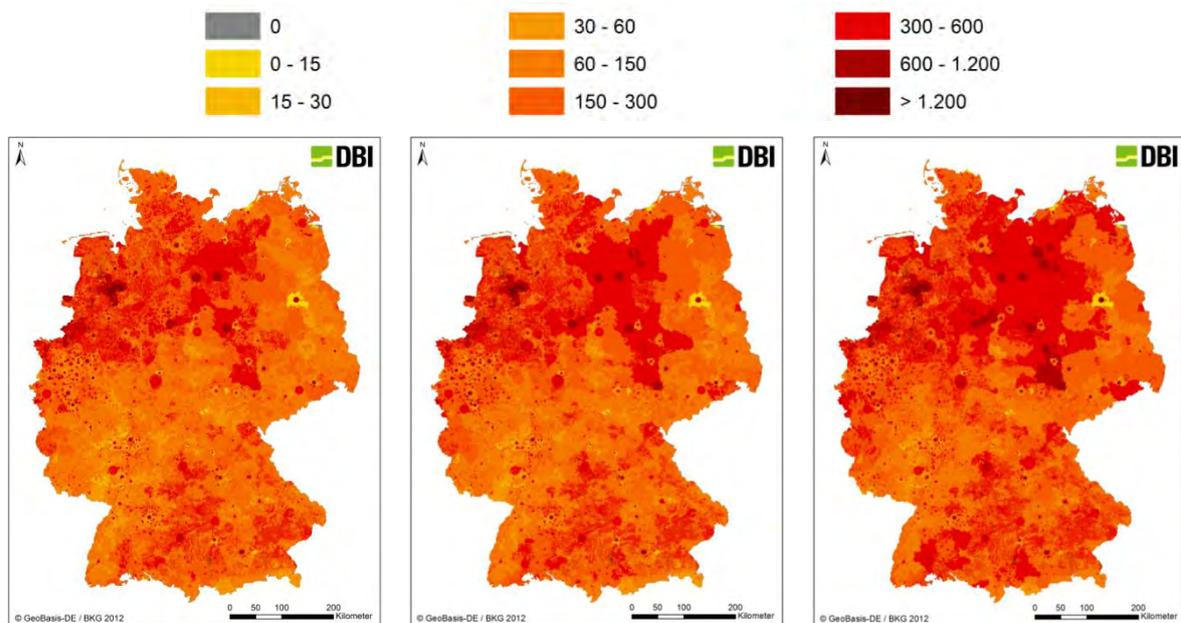


Abbildung 153: Wirtschaftlich/ nachhaltiges Summenpotenzial aller betrachteten Substrate in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von links nach rechts) unter Berücksichtigung des Szenarios „Nachhaltige Entwicklung“ für den Maisanbau

Das Biomethanpotenzial aus kommunalen Substraten steigt bis 2030 leicht an. Diese Steigerung ist für alle Substrate gegeben, außer bei Restmüll. Die Ursache hierfür liegt in einem steigenden Bewusstsein für Mülltrennung und der weiteren Einführung der Biotonne auch im ländlichen Raum. Somit erfolgt bei der statistischen Erfassung ein Wechsel der organischen Abfälle vom Restmüll in die Biotonne mit entsprechender Auswirkung auf die Potenziale. Da jedoch die Bevölkerungszahlen bis 2030 sinken, wirkt sich auch dieser Effekt aus, sodass dem Rückgang beim Restmüll von etwa 30 % ein Zuwachs bei der Biotonne von nur ca. 13 % gegenübersteht.

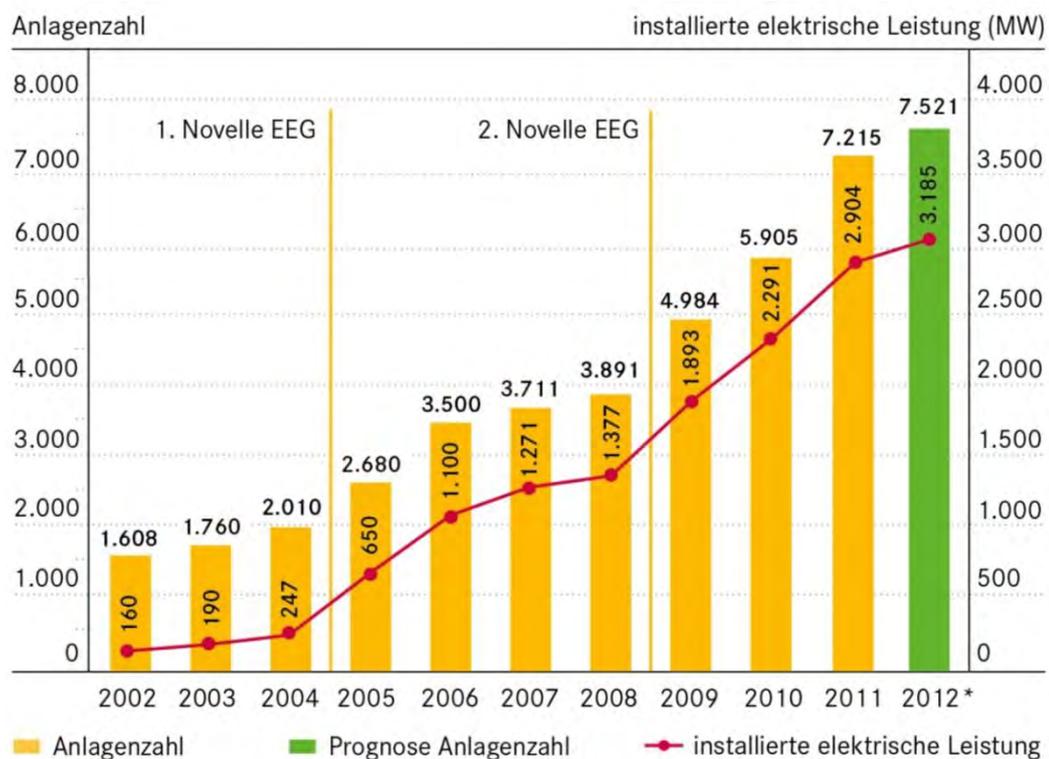
Die zusammenfassende Betrachtung von Landwirtschaft, Industrie und Kommune zeigt ein wachsendes Potenzial bis 2030. Dabei steigt das technische und wirtschaftliche Biomethanpotenzial stärker als das theoretische. Die Ursache hierfür liegt im technischen Fortschritt (z.B. Steigerung der Ernteerträge, Milchleistung bei Kühen etc.) begründet, sodass von dem theoretisch verfügbaren Substrat ein größerer Anteil geborgen und tatsächlich genutzt werden kann. Der Einfluss ist im Bereich der Landwirtschaft besonders stark. Weiteres Steigerungspotenzial ist in der Verfahrenstechnologie der Biogaserzeugung zu erwarten, welche innerhalb dieser Studie keine Berücksichtigung findet.

Die Vorgaben der Gasnetzzugangsverordnung sehen eine Einspeisemenge in das öffentliche Erdgasnetz von 6 Mrd. Nm^3 Biomethan im Jahr 2020 und 10 Mrd. Nm^3 Biomethan im Jahr 2030 vor [GasNZV 2010]. Die ermittelten Potenziale weisen zwar höhere Werte auf, aber die politischen Zielvorgaben berücksichtigen ausschließlich die eingespeisten Biogasmengen (Biomethan). Derzeit wird aber der Großteil des erzeugten Biogases dezentral in BHKWs in elektrische und thermische Energie umgewandelt. Geht man davon aus, dass die Ziele erreicht werden,

so bedeutet dies, dass im Jahr 2020 etwa 70 % und 2030 etwa 97 % des erzeugten Biogases in das öffentliche Erdgasnetz eingespeist werden müssten. Diese Anteile sind im Hinblick auf einem derzeitigen Anteil von etwa 8 % als kritisch einzuschätzen [FNR 2012a], [BGPARTNER 2013].

7 Aktuelle Standorte von Biogasanlagen, Biogaseinspeiseanlagen und den Maisanbauflächen bzw. Gärproduktausbringflächen

In den vorangegangenen Kapiteln erfolgte eine Analyse hinsichtlich der Biogaserzeugungspotenziale als auch der Auswirkungen auf den Boden und das Trinkwasser. Hierbei wurden jedoch noch nicht die aktuell bestehenden Biogasanlagenstandorte berücksichtigt. Aktuell sind in Deutschland über 7.500 Biogasanlagen in Betrieb [FNR 2012a]. Für ca. 6.000 Biogasanlagen lagen dabei standortgenaue Daten für eine GIS-Analyse vor, so dass hierdurch eine Abschätzung der Maiserzeugungsflächen und Gärproduktausbringflächen standortgenau erfolgen konnte.



Quelle: FNR nach FvB (Juni 2012)

* Prognose

© FNR 2012

Abbildung 154: Entwicklung der Biogasanlagenzahl und installierten elektrischen Leistung [FNR 2012a]

Um eine regionenscharfe Analyse durchzuführen wurden diese Biogasanlagen standortscharf zusammengestellt und bewertet. Die in dieser Studie unterstellten Biogaserzeugungsanlagen sind dabei in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

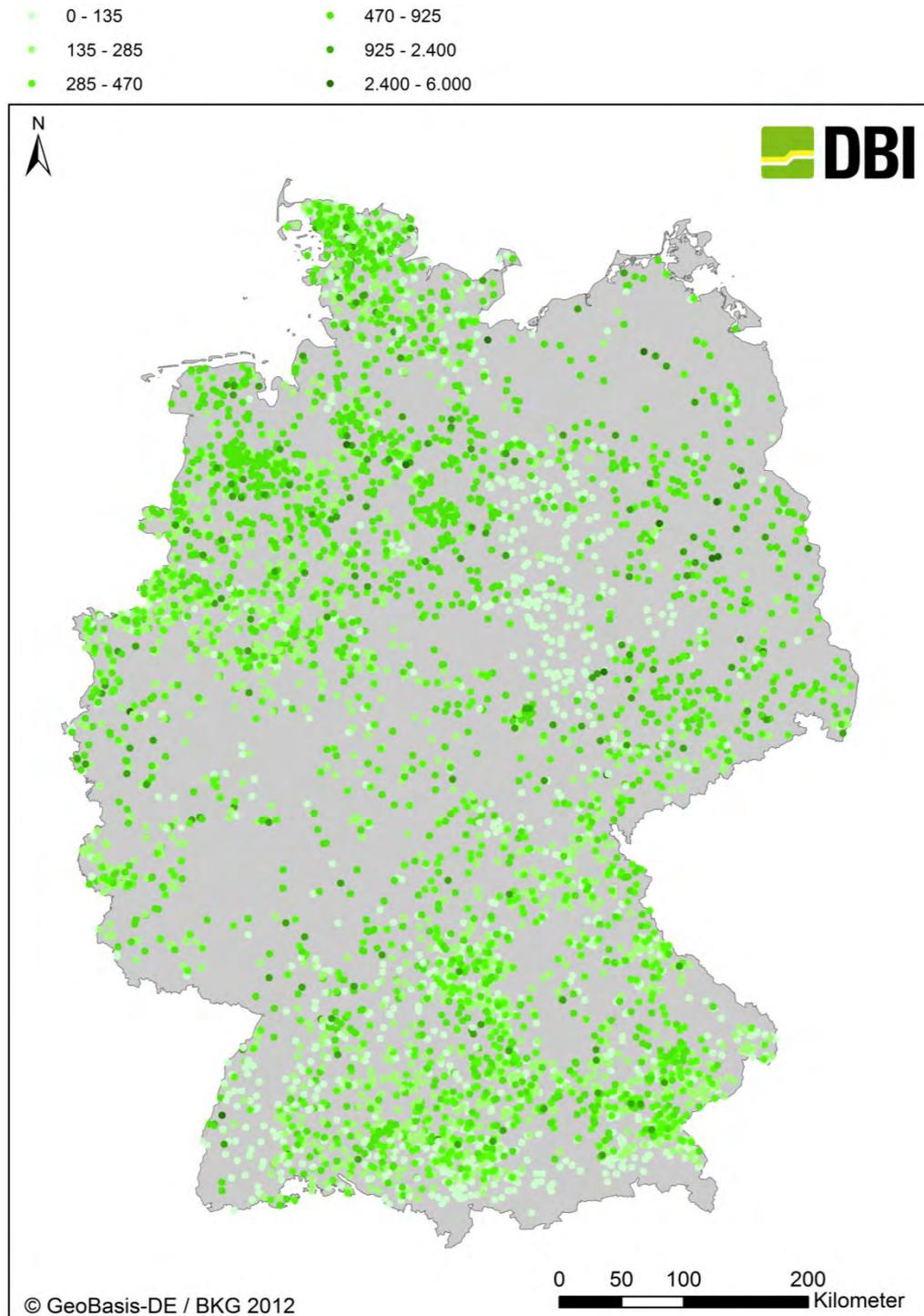


Abbildung 155: Standorte der Biogaserzeugungsanlagen in Deutschland (elektrische Nennleistung in kW)

Von den aktuell (Ende 2012) ca. 7.500 Biogasanlagen speisen ca. 120 Anlagen das erzeugte Biogas ins Erdgasnetz ein (Biogaseinspeiseanlagen). Diese Standorte dieser Anlagen sind in nachfolgender Abbildung dargestellt.

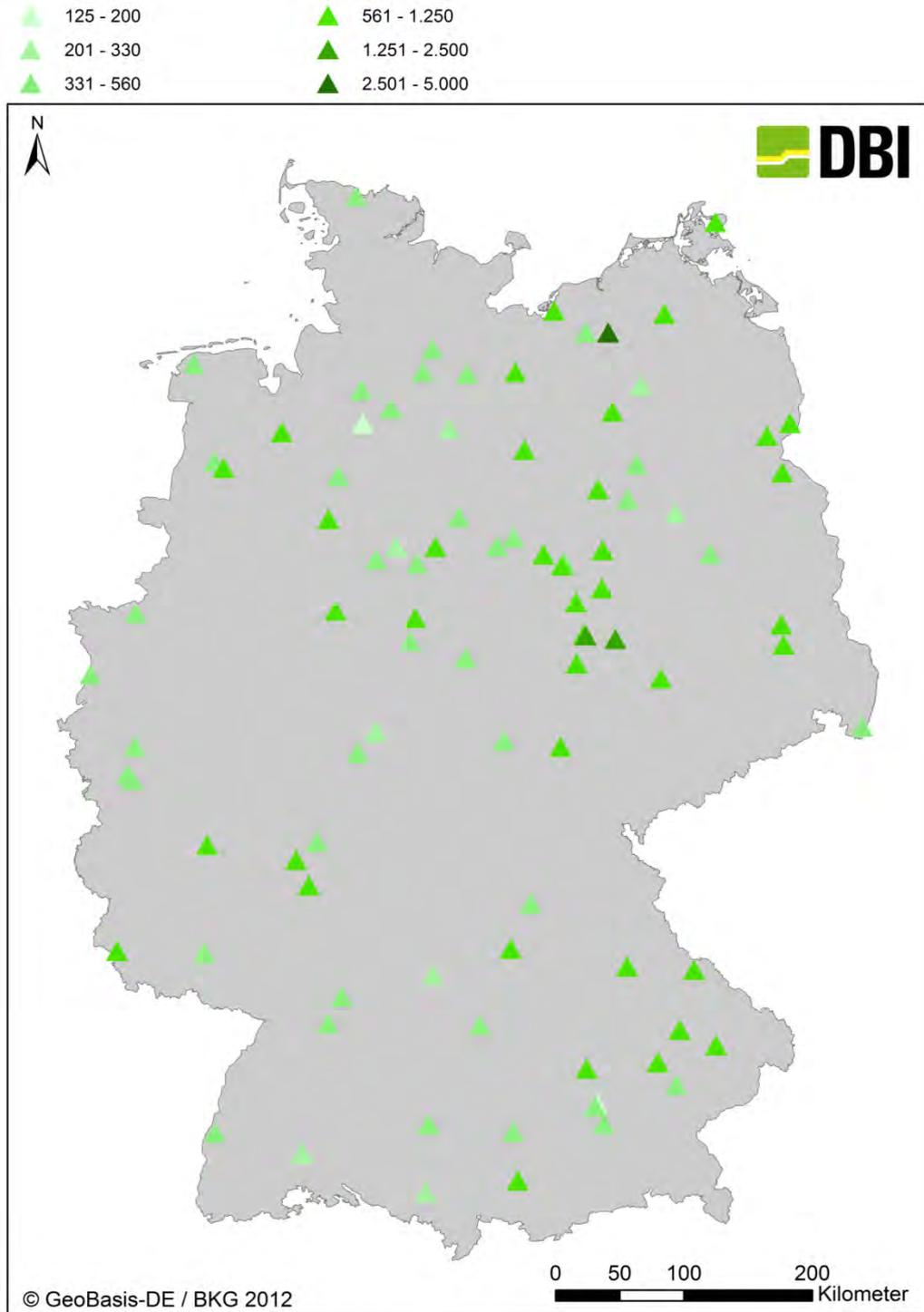


Abbildung 156: Standorte der Biogaseinspeiseanlagen in Deutschland (eingespeiste Biomethanmenge in Nm³/h)

Anhand Nennleistung der jeweiligen Biogasanlagen erfolgte eine Abschätzung des Bedarfs an Gülle und Energiemais. Im Umfeld einer Biogasanlage kann dabei zwischen folgenden Flächen unterschieden werden:

- Maisanbauflächen
- Flächen für die Gärproduktausbringung
- Maisanbauregionen
- sonstige Ackerflächen

Die Differenzierung zwischen Maisanbaufläche und Maisanbauregion resultiert aus dem ackerbaulichen Fruchtwechsel. Maisanbauflächen beschreiben die benötigte Anbaufläche, welche für den Betrieb der Biogasanlage in einem Jahr notwendig ist. Die Maisanbauregion kennzeichnet das Gebiet, auf welchem über mehrere Jahre im Wechsel mit anderen Fruchtarten der Maisanbau erfolgt. Demzufolge gehören Maisanbauflächen zur Maisanbauregion. Alle vom Energiemaisanbau nicht berührten Flächen stehen anderen Fruchtarten und Silomais für Futterzwecke frei zur Verfügung. Die Ackerflächen für die Gärproduktausbringung stellen vornehmlich Maisanbauflächen dar, sodass ein geschlossener Nährstoff- und Humuskreislauf entsteht. Reichen die jährlichen Maisanbauflächen nicht aus, erfolgt die Ausbringung innerhalb der Maisanbauregion. Die benötigte Gärproduktausbringfläche wurde in Abhängigkeit der Leistung der jeweiligen Biogasanlage ermittelt. Hierfür erfolgte eine Abschätzung der anfallenden Menge, welche vorrangig auf die Maisanbauflächen und zweitrangig auf die Maisanbauregion ausgebracht wird. Das bedeutet, dass zu den ausgewiesenen Gärproduktausbringflächen gleichzeitig auch die Maisanbauflächen genutzt werden.

Abbildung 157 zeigt das deutschlandweite Ergebnis. Besonders in Schleswig-Holstein, dem Nordwesten Niedersachsens und dem Südosten Baden-Württembergs wird ein Großteil der Ackerflächen für den Anbau von Energiepflanzen (Mais) benötigt. Das Substrat wird in den vorhandenen Biogasanlagen eingesetzt. Das Ergebnis entspricht dem nachhaltigen Potenzial von Mais (Kapitel 6.2.2).

Für derzeitige Biogasanlagen bedeutet der hohe Flächenbedarf jedoch nicht zwingend einen Rückbau bzw. Stilllegung. Vielmehr ist in den jeweiligen Regionen zu prüfen, ob alternative Wege der Gärproduktnutzung möglich sind (z.B. Gärproduktexport, Gärproduktaufbereitung oder bei keiner stofflichen Nutzungsmöglichkeit thermische Nutzung). Bei der Errichtung neuer, weiterer Biogasanlagen ist dabei von vornherein zu bedenken, wie die Substrate (z.B. keine NawaRo, sondern nur Reststoffe) beschafft und die Gärprodukte verwertet werden können. Konkrete Hinweise für einen gewässerschützenden Energiepflanzenanbau enthält Abschnitt 10.1.

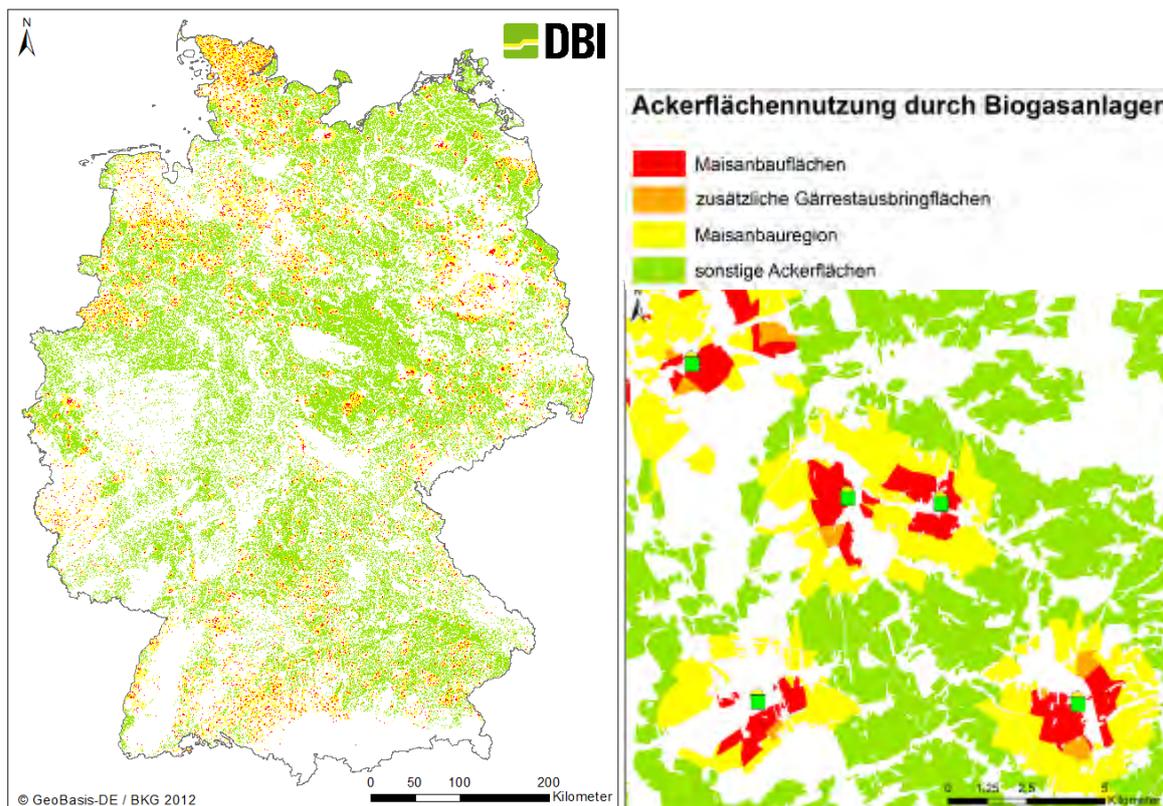


Abbildung 157: Ackerflächennutzung durch Biogasanlagen

8 CO₂-Footprint unterschiedlicher Nutzungspfade von Biogas

Eine Bewertung der Biogasnutzungspfade ist neben den jeweiligen Potenzialen auch vom CO₂-Footprint abhängig. Hierdurch werden sowohl die Herkunft des kohlenstoffhaltigen Energieträgers als auch dessen Nutzungseffizienzen entlang der Wertschöpfungskette berücksichtigt.

Grundsätzlich kann die Biogasnutzung in folgende drei Pfade unterteilt werden [AEE 2013]:

1. *KWK vor Ort*: Biogas wird in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt (KWK); der Strom wird vollständig ins Netz eingespeist, die Wärme vor Ort verbraucht (in dem folgenden Rechenbeispiel mit 60 % angesetzt).
2. *Einspeisung + KWK*: Das Biogas wird auf Erdgasqualität aufbereitet, ins Erdgasnetz eingespeist und andernorts in einem BHKW für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Der Strom wird vollständig ins Netz eingespeist und die Wärme vor Ort verbraucht (in dem folgenden Rechenbeispiel wird eine 100 prozentige Wärmenutzung angesetzt).
3. *Rein elektrische Nutzung*: Das Biogas wird in einem BHKW für die Stromerzeugung genutzt; der Strom wird vollständig ins Netz eingespeist, die anfallende Wärme bleibt ungenutzt.

Folgende Annahmen wurden zur Berechnung der eingesparten Treibhausgas-Emissionen (THG) getroffen:

- Biogasertrag von einem Hektar Mais:
 - o Ernte: ca. 45 Tonnen Frischmasse von einem Hektar Anbaufläche; ca. 185 m³ Rohbiogas je Tonne Frischmasse ergibt 8.325 m³ Rohbiogasertrag mit 52 % Methangehalt
- Wirkungsgrade des BHKW (Leistung durchschnittlich 200 kW_{el}):
 - o 38 % elektrisch
 - o 45 % thermisch
- Durchschnittlicher Eigenbedarf bzw. Verluste der Aufbereitungstechnologie (gewichtet nach Anteilen der Aufbereitungstechnologien Druckwechseladsorption, Druckwasser-, Amin- und Selexolwäsche) in Deutschland 2009,
 - o 3,43% Methanverlust
 - o 0,25 kWh Strombedarf je Kubikmeter Rohbiogas
 - o 0,14 kWh Wärmebedarf je Kubikmeter Rohbiogas
- Thermischer Wirkungsgrad des Erdgaskessel (durchschnittliche Leistung 25 kW_{th}): 83 %

Daraus ableitend stellt nachfolgende Abbildung die resultierenden vermiedenen THG-Emissionen der vier Kategorien dar. Vergleichbare Werte sind auch in anderer Literatur zu finden [BACHMAIER 2009].

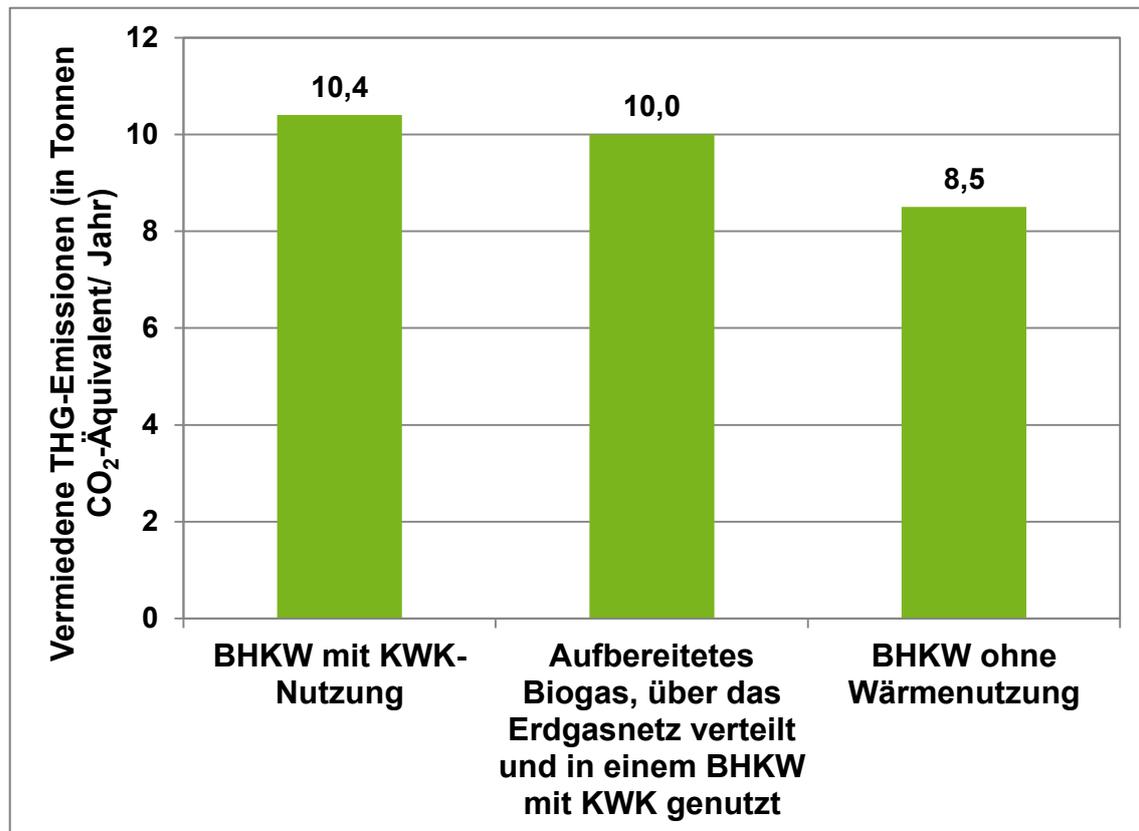


Abbildung 158: Vermiedene THG-Emissionen (in Tonnen CO₂-Äquivalent/ Jahr; eingesetzte Primärenergie: Biogas aus der Maisvergärung (Ertrag von 1 ha/a)) in Abhängigkeit des Nutzungsgrades im Vergleich zum deutschen Strommix [AEE 2013]

Im deutschen Strommix (Stand 2009) wird je erzeugter Kilowattstunde Biogas-Strom durchschnittlich eine Menge von 0,563 kg CO₂-Äquivalent vermieden [AEE 2013]. Im Wärmemix ist eine Einsparung von durchschnittlich 0,161 kg CO₂-Äquivalent pro Kilowattstunde Biogas- Wärme möglich [AEE 2013].

Nur bei hohen Wärmenutzungsgraden führt eine Biogasverstromung am Ort der Erzeugung zum geringsten CO₂-Footprint. Oftmals sind jedoch in der Nähe einer Biogasanlage nicht ausreichend Wärmeabnehmer wirtschaftlich versorgbar (Variante 1). Da bei einer Einspeisung ins Erdgasnetz i. d. R. eine Wärmenutzung immer und damit höchste Gesamtnutzungsgrade gegeben sind (Variante 2), sind die CO₂-Emissionen deutlich niedriger als bei einer Biogas Vorort-Nutzung, sofern keine Wärmenutzung vorliegt (Variante 3). Prinzipiell muss jedoch immer im Einzelfall auf Grundlage der Nachhaltigkeit und Effizienz über den sinnvollsten Nutzungspfad entschieden werden.

9 Ausweisung von Vorzugsgebieten für die Errichtung von Biogaserzeugungs- und Biogaseinspeiseanlagen unter Berücksichtigung des lokalen Erdgasabsatzes

9.1 Auswirkungen der Biogaseinspeisung auf die Gasinfrastruktur

Die zunehmende Einspeisung von Biogas stellt steigende Anforderungen an die Struktur und den Betrieb der Gasnetze. Es werden u. a. neue und angepasste Lösungen sowohl für die Verteilung von Biogas als auch für die Gewährleistung einer korrekten Abrechnung benötigt.

Vor allem im ländlichen Gebiet mit tendenziell eher geringer Gasabnahme kann die Biogaseinspeisung z. B. in den Sommermonaten den Gasabsatz überschreiten, so dass im Gasnetz Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung notwendig werden (siehe Kapitel 5). Diese Maßnahmen reichen von der Nutzung des Netzpuffers über die Verbindung von Teilnetzen bis hin zur Rückspeisung in die vorgelagerten Netze. Vor allem die Rückverdichtung bringt einen erheblichen Aufwand hinsichtlich Investition und Betrieb für Verdichtung und ggf. Deodorierung mit sich. Verschiedene Konzepte für kapazitätserhöhende Maßnahmen auf der Verteilnetzebene werden ausführlich im Bericht „Smart Gas Grids“ [DBI 2012] dargestellt, welcher im Rahmen der Innovationsoffensive des DVGW die Anforderungen an Gasnetze der Zukunft untersucht.

Begrenzungen für die Biogaseinspeisung ergeben bei Zusatzgaseinspeisung, durch die Vorgaben zur Einhaltung des zulässigen Brennwertbereiches (geregelt in den DVGW-Arbeitsblättern G 260 – Gasbeschaffenheit [DVGW G 260] und G 685 – Gasabrechnung [DVGW G 685]). Bei der Einhaltung der im DVGW-Arbeitsblattes G 260 und G 262 vorgegebenen Grenzen hinsichtlich brenntechnischer Kenndaten als auch Gasbegleitstoffen sind keine negativen Auswirkungen auf die Gasinfrastruktur zu erwarten. Ebenso stellt das Gasnetz bilanziell keine Begrenzung der Biogaseinspeisung dar. Der in Kapitel 5.2 ermittelten Kapazität von 25 Mrd. Nm³ CH₄ steht ein aktuelles Potenzial von 6,4 Mrd. Nm³ CH₄ gegenüber, welches bis 2030 auf 10,3 Mrd. Nm³ CH₄ ansteigt (Szenario „Nachhaltige Entwicklung“, Kapitel 6.5).

9.2 Restriktive und selektive Standortfaktoren

Um potenzielle Standorte (Baulandflächen) für Biogaserzeugungs- und Biogaseinspeiseanlagen zu identifizieren sind sowohl restriktive als auch selektive Standortfaktoren zu berücksichtigen.

Restriktive Faktoren führen dazu, dass auf diesen Flächen keine Anlagen errichtet werden. Hierzu gehören u.a. Natur- und Wasserschutzgebiete. Auf Verkehrswegen und Gasleitungen können ebenso keine Anlagen errichtet werden, da ein gewisser Mindestabstand eingehalten werden muss. Dieser Abstand ist abhängig vom jeweiligen Typ. In den Analysen wurde zudem unterstellt, dass keine Flächennutzung umgewidmet werden kann. Waldgebiete oder Ackerflächen können im Rahmen dieser Annahmen nicht als potenzielle Standorte zur Verfügung stehen. In der Praxis kann jedoch je nach regionalen Gegebenheiten durchaus eine Umwidmung von z.B. Ackerflächen möglich sein.

Tabelle 66: Restriktive Faktoren für die Ausweisung von Vorzugsgebieten für die Errichtung von Biogas- und Einspeiseanlagen

Restriktive Faktoren
<ul style="list-style-type: none"> - Wald - Naturschutzgebiete(Nationalparks, Naturparks, Naturschutzgebiete) - Wasserschutzgebiete - Ackerflächen - überbaute Gebiete / Orte - Verkehrswege/ Schienen - Gasleitungen + Schutzstreifen

Abbildung 159 gibt alle Flächen wieder, auf welchen anhand der oben definierten Faktoren die Errichtung einer Biogasanlage bzw. Biogaseinspeiseanlage nicht möglich ist. Die Abbildung weist dabei nur mögliche Anlagenstandorte aus. Eine Aussage, ob Substrat zu Biogaserzeugung zur Verfügung und in welcher Menge, kann damit nicht getroffen werden. Hierzu sind ebenso die selektiven Faktoren zu berücksichtigen.

Aus der Abbildung ist einerseits ersichtlich, dass ein Großteil der bundesdeutschen Fläche als potenzielles Bauland für Biogas- und Einspeiseanlagen ausscheidet. Die Mehrzahl der restriktiven (violett gekennzeichneten) Flächen weist dabei zwei oder mehr Ausschlusskriterien auf. Besonders weiträumige Schutzgebiete (Naturschutz-, Wasserschutzgebiete, usw.) reduzieren die potenziellen Standorte großflächig. Andererseits ist jedoch festzuhalten, dass deutschlandweit und in jeder Region verschiedene Flächen für die Errichtung einer Anlage vorhanden sind. Die Summe aller potenziell zur Verfügung stehenden Flächen ist nicht sehr hoch. Da jedoch pro Anlage nur wenige Hektar (i.d.R. 2 – 25 ha) als Bauland zur Verfügung stehen muss, ist trotzdem in allen Regionen eine Biogasanlagenerrichtung möglich. Ein praktisch bedeutsamer, begrenzender Faktor ist dies somit nicht.

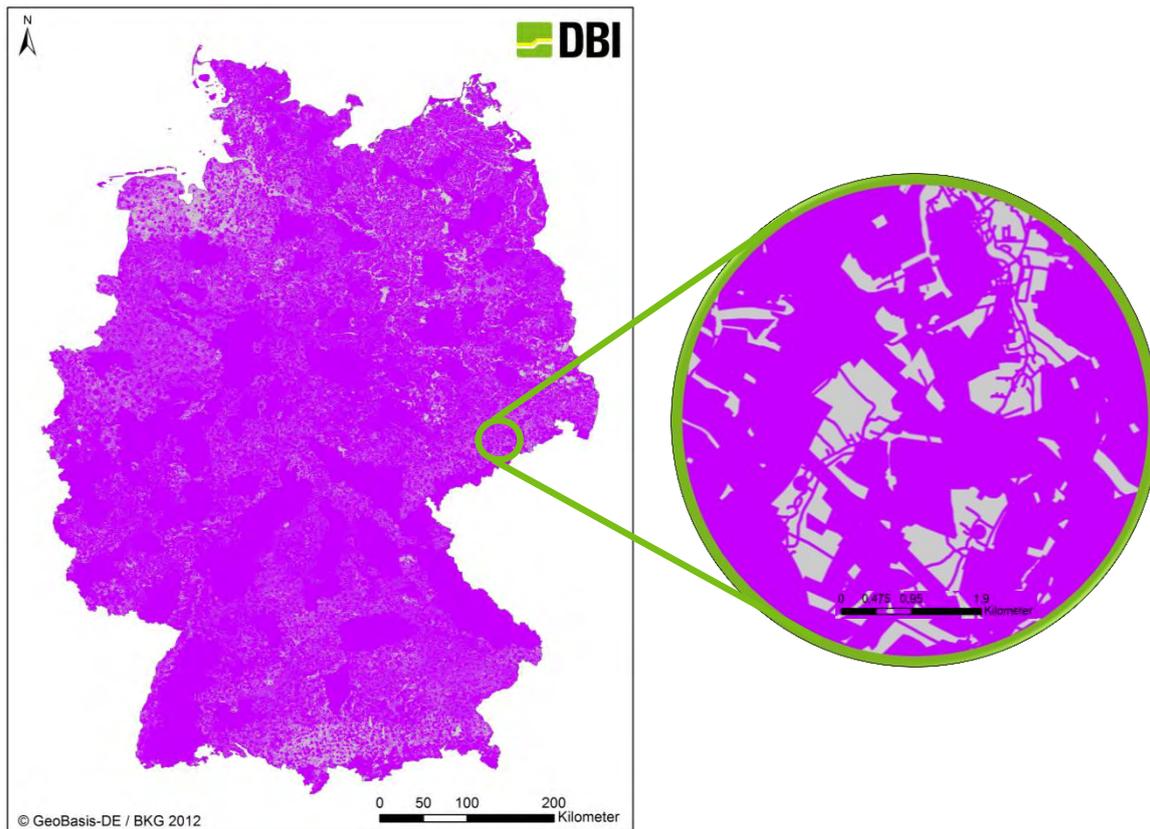


Abbildung 159: Ausschlussgebiete (violett) für die Errichtung einer Biogas- bzw. Biogaseinspeiseanlage²⁰

Selektive Faktoren hingegen sind für eine Anlagenerrichtung notwendig. Hierzu gehören beispielsweise die Entfernung zu einer Gasleitung oder das Biomethanherzeugungspotenzial. Je geringer die Entfernung zur Gasleitung oder je höher das Biomethanherzeugungspotenzial, desto besser ist dieser Standort für eine Biogaserzeugungs- und Biogaseinspeiseanlagen geeignet.

Tabelle 67: Selektive Faktoren für die Ausweisung von Vorzugsgebieten für die Errichtung von Biogas- und Einspeiseanlagen

Selektive Faktoren
- Haupt- oder Nebenstraßen
- Gasleitung
- Entfernung zum Erdgasnetz
- Aufnahmekapazität des Erdgasnetzes
- Biogaserzeugungspotenzial

²⁰ Auf diesen Flächen sollte keine Biogas- oder Biogaseinspeiseanlage errichtet werden. Eine Substratgewinnung kann jedoch möglich sein (vgl. selektive Faktoren bzw. Biogaspotenzialkarten).

Mögliche Flächen für Biogas- und Einspeiseanlagen müssen zudem eine Mindestgröße von 2 ha aufweisen. Damit ist gewährleistet, dass auf den ausgewiesenen Flächen ausreichend Bauland für die Errichtung der Anlage zur Verfügung steht.

In Deutschland lassen sich unter Berücksichtigung der genannten Nachhaltigkeitskriterien nur auf einer begrenzten Flächenauswahl Biogasanlagen errichten. Maßgebliches begrenzendes Kriterium ist dabei nicht die Entfernung zum Erdgasnetz. Aufgrund des guten Erdgasnetzausbaus kann nahezu deutschlandweit eine Anbindung ans Erdgasnetz erfolgen. Abbildung 160 zeigt das Ergebnis, wenn man (wie in der Analyse angesetzt) eine maximale Entfernung von 10 km zwischen Biogasanlage und Erdgasnetz unterstellt. Hierbei werden nur Gashochdruckleitungen mit einer Druckstufe ≥ 4 bar berücksichtigt.

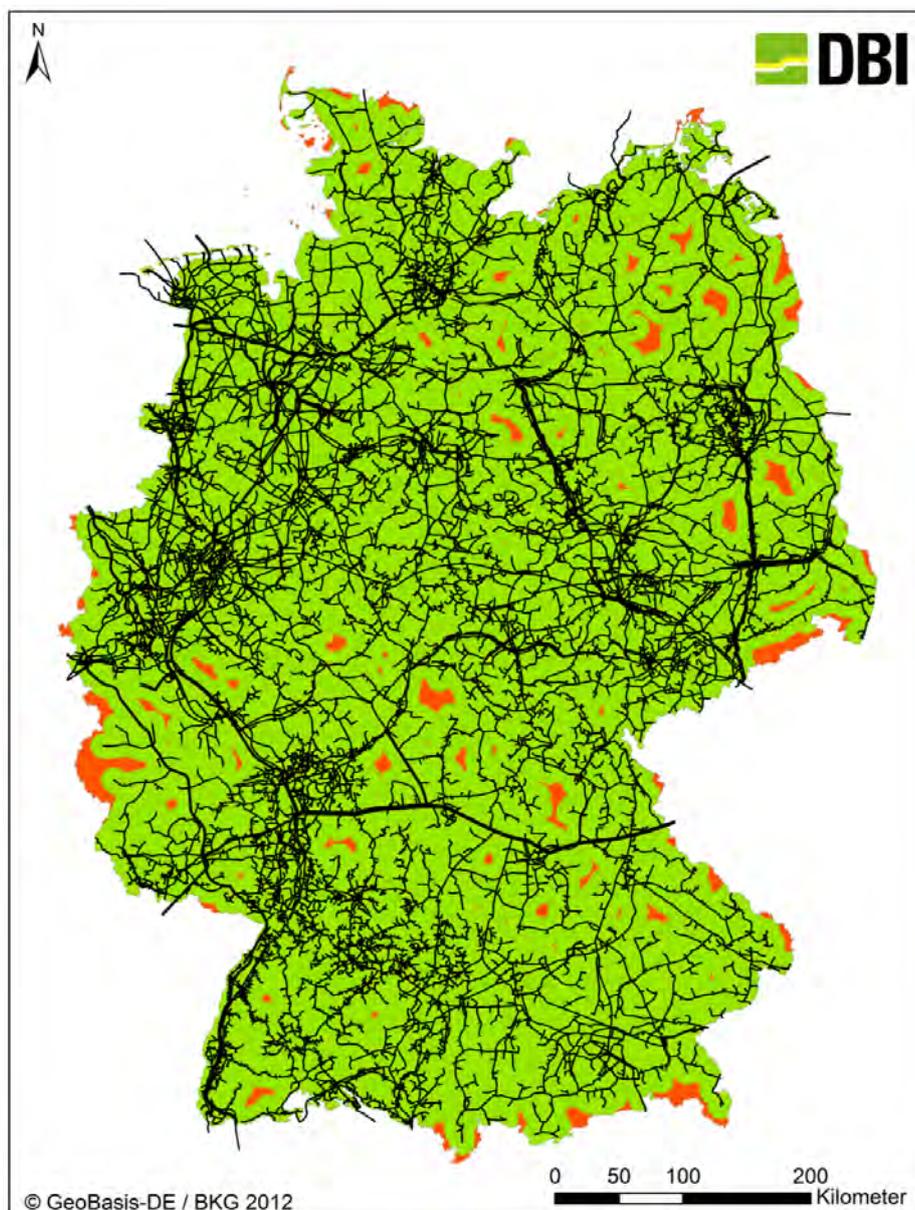


Abbildung 160: Überregionales Erdgasnetz in Deutschland [schwarz] und Einzugsgebiete für Biogaseinspeiseanlagen [grün]; weiter als 10 km vom Erdgasnetz entfernte Regionen sind orange gekennzeichnet

Fast deutschlandweit ist somit eine Biomethaneinspeisung mit einer maximalen Verbindungsleitung von 10 km zwischen Biomethananlage und Erdgasnetz möglich. Überall in Deutschland ist in 20 km Entfernung eine überregionale Erdgasleitung vorhanden. Die Biomethaneinspeisung wird somit nicht begrenzt durch die Lage des Erdgasnetzes. Deutschland verfügt somit über eine sehr gute Verteilstruktur.

9.3 Biogaseinspeisepotenzial und Erdgasaufnahmefähigkeit

In Kapitel 6 wird das Biomethanerzeugungspotenzial im IST-Stand aus 20 verschiedenen Substraten ermittelt. Ein Vergleich mit den aktuellen Produktionszahlen zeigt, dass das wirtschaftlich-nachhaltige Gesamtpotenzial nur geringfügig über der aktuell erzeugten Biogasmenge liegt (Abbildung 161). Dennoch kann nachgewiesen werden, dass ein Teil des derzeit erzeugten Biogases die in dieser Studie angesetzten Nachhaltigkeitskriterien nicht erfüllt. Das Kapitel 5 zeigt, dass das vorhandene Erdgasnetz im Allgemeinen keinen begrenzenden Faktor für die Biomethaneinspeisung aufgrund der Kapazität darstellt. Im Folgenden wird untersucht, in welchen Regionen Deutschlands dennoch mit einer hohen Einspeiserate zu rechnen ist.

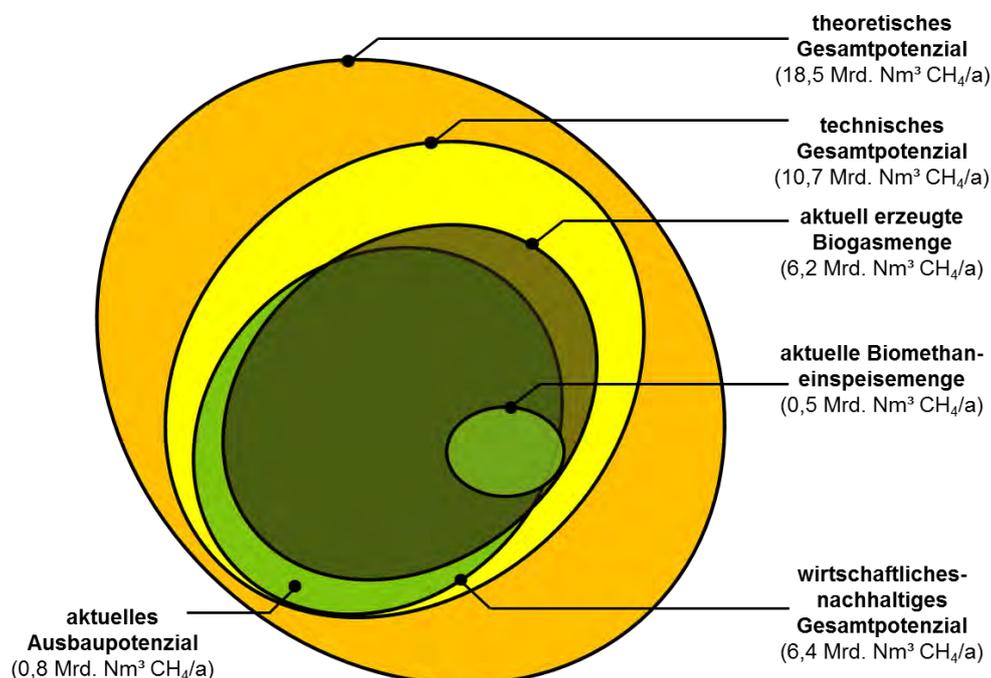


Abbildung 161: Schematische Darstellung der Biomethanerzeugungspotenziale (IST-Stand) im Vergleich zu den aktuellen Produktionsmengen

Durch die Verschneidung von selektiven und restriktiven Flächen können die Standorte von Biogaserzeugungs- und Biogaseinspeiseanlagen ermittelt werden. Die meisten Flächen sind dabei in Nord-, Ost- und Süddeutschland zu finden.

Die regionale Biogaserzeugung ist als quasikontinuierlich anzusehen (wetter-, tages- und jahreszeitenunabhängig). Der Erdgasabsatz schwankt hingegen tages- und jahreszeitlich. Zudem ist der Erdgasabsatz in Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten (Haushalte, Industrie, Gewerbe, Kraftwerke etc.) regional sehr unterschiedlich. Führt man die in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten wirtschaftlichen/nachhaltigen Biogaspotenziale mit den jeweiligen Erdgasabsatzmengen je Gemeinde zusammen, so zeigt sich bezogen auf die möglichen Biogasanlagenstandorte nachfolgendes Bild.

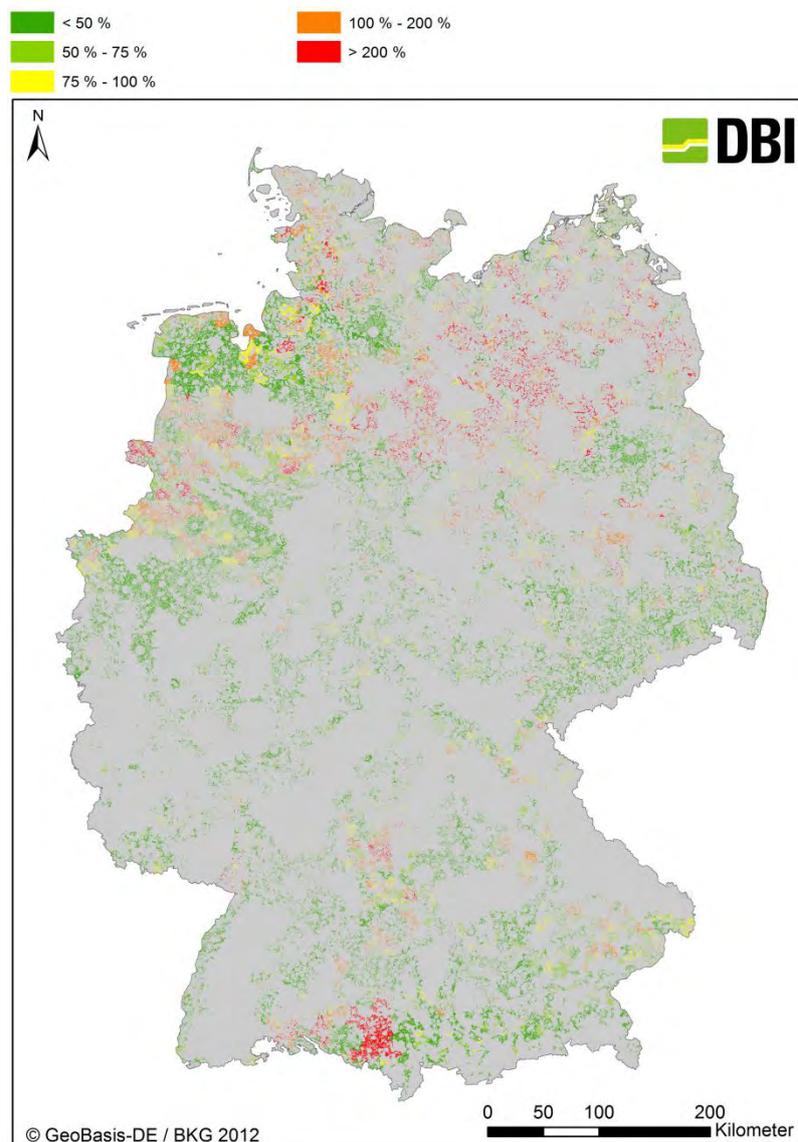


Abbildung 162: Anteil des wirtschaftlichen/nachhaltigen Biomethanpotenzials bezogen auf die minimale Erdgasabsatzmenge (Angaben in Prozent)

Wie aus Abbildung 162 ersichtlich, ist bei einer Einspeisung ins regionale Verteilnetz insbesondere im norddeutschen Raum mit einer Rückspeisung in vorgelagerte Erdgasnetze zu rechnen, da die produzierbaren Biomethanmengen nicht lokal ganzjährig verbraucht werden können. Der Grund hierfür liegt für den nordwestdeutschen Bereich in den überdurchschnittlich hohen Biomethanpotenzialen. Im nordostdeutschen Bereich sind die geringen Erdgasabsatzmengen die Ursache für eine Nutzung vorgelagerter Erdgasnetze, welche das eingespeiste Gas in andere Verbrauchsregionen leiten.

In Süddeutschland ist nur bei einzelnen Regionen mit Rückspeisung in vorgelagerte Netze zu rechnen. Ursache sind hierbei zumeist überdurchschnittlich hohe Biogaspotenziale (in z.B. landwirtschaftlich geprägten Gebieten) und ein geringer lokaler Erdgasverbrauch.

10 Handlungsempfehlungen

Mit diesem Abschnitt sollen aus den Projektergebnissen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Bedingt durch den fachgebietsübergreifenden Charakter des Projektes haben sich die Autoren entschlossen die folgenden Handlungsempfehlungen nach Zielgruppen zu ordnen, um so eine schnelle effiziente Übersicht zu ermöglichen. Die wesentlichen Zielgruppen und der Fokus der Handlungsempfehlungen sind aus der Sicht der Autoren:

- Landwirtschaft (Erzeuger von Energiepflanzen, Biogasanlagenbetreiber)
Hauptfokus sind eine nachhaltige Düngestrategie, in der sowohl die Düngung mit mineralischen Düngern als auch die Nutzung von Wirtschaftsdüngern inklusive der Gärreste berücksichtigt werden, sowie die Vermeidung einer unausgewogenen Pflanzenfolge
- Politische Entscheidungsträger sowohl in der Legislative als auch in der Exekutive
Wesentliche Bedeutung haben die Harmonisierung der unterschiedlichen Bereiche Landwirtschaft und Wasserwirtschaft sowie die Einbeziehung des Schutzes der Wasserressourcen in die Praxis der Biogasanlagengenehmigung. Darüber hinaus ist es notwendig Steuerungsmaßnahmen für die Weiterentwicklung der Biogaseinspeisung vorzusehen, wenn die Ziele aus der GasNZV erreicht werden sollen.
- Gasnetzbetreiber
Schwerpunkte sind insbesondere eine frühzeitige koordinierte Vorgehensweise bei der Wahl von Einspeisepunkten in das Gasnetz sowie der vorausschauende Ausbau der Netze.

Mit dem Ergebnis der Studie wird ein Potenzial für die Erzeugung von Biogas ausgewiesen, welches einen weiteren Ausbau der Biogasproduktion und der Biogaseinspeisung auch unter nachhaltigen Gesichtspunkten gestattet. Die Autoren der Studie gemeinsam mit dem projektbegleitenden Ausschuss sind sich einig, dass die Berücksichtigung der Handlungsempfehlungen wesentlich zu einer Verbesserung von Bodenqualität, Schutz von Grundwasserkörpern und Gewässern aber auch zum Gelingen der Energiewende beitragen kann.

10.1 Für die Landwirtschaft zum Anbau von Pflanzen und das Gärproduktmanagement

Entsprechend den Abschnitten 4.2.2 und 4.4, nehmen die nach EU-Wasserrahmenrichtlinie bzgl. Nitrat festgelegten gefährdeten Grundwasserkörper deutschlandweit eine Gesamtfläche von 9,3 Mio. ha ein, davon betroffen sind 4,2 Mio. ha Ackerflächen (ca. 37 % der bundesweiten Ackerflächen). In den meisten Fällen ist die erhöhte Nitratbelastung des Grundwassers vor allem auf die langjährige intensive landwirtschaftliche Nutzung in den jeweiligen Einzugsgebieten zurückzuführen. Einen besonderen Schwerpunkt stellen Regionen mit intensi-

ver Viehhaltung dar. Die Produktion von Energiepflanzen für die Biogasproduktion trägt nur einen kleinen Anteil dazu bei.

Um – soweit möglich – zu vermeiden, dass der Anbau von Energiepflanzen zur Biogasgewinnung eine zusätzliche Gefährdung für das Grund- und Oberflächenwasser bewirkt, wurden hierzu aus Vorsorgegründen von Seiten des DVGW entsprechende Forderungen formuliert [DVGW 2008] und gemeinsam mit der BGK Anforderungen an die Verwertung von Gärprodukten in WSG definiert [DVGW 2013]. Diese Forderungen treffen auch auf die herkömmliche Landwirtschaft (ohne Energiepflanzenanbau) zu. Eine Auftrennung der Anforderungen in „herkömmliche Landwirtschaft“ und „Energiepflanzenanbau mit Gärproduktausbringung“ ist jedoch nicht praxisbezogen, da viele Betriebe sowohl Nahrungs- und Futtermittel als auch Energiepflanzen produzieren. Der DVGW hat dazu die Technische Regel DVGW-Arbeitsblatt W 104 [DVGW W 104] entwickelt welche die Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung zusammenfasst. Diese technische Regel bildet die Grundlage der folgenden Handlungsempfehlungen für den Anbau und die Düngung von Pflanzen allgemein, nicht allein von Energiepflanzen.

Handlungsempfehlungen für den Anbau von Nahrungs-, Futtermittel und Energiepflanzen

- Beim Pflanzenanbau allgemein und damit auch beim Anbau von Energiepflanzen ist durch spezielle Fruchtfolgen eine ganzjährige Bodenbedeckung sicher zu stellen.
- Aus Gründen des Klima- und Gewässerschutzes ist der Umbruch von fakultativem Grünland zu vermeiden. Der Umbruch von Dauergrünland ist nach EU-Recht bereits reglementiert (Cross Compliance) sowie in einigen Bundesländern (z.B. Baden-Württemberg) bereits verboten.
- Für die Energiepflanzen Mais, Raps, Getreide und Gras sind kulturspezifischen Bewirtschaftungsauflagen einzuhalten (s. Anlage A2), dazu gehören insbesondere die Erweiterung bzw. der Erhalt mehrgliedriger Fruchtfolgen: Mais auf max. 40 % der Anbaufläche, mit vorgeschaltetem Zwischenfruchtanbau max. 50 %
- Beschränkung des chemischen Pflanzenschutzes auf das notwendige Maß und/ oder Verzicht auf bekanntermaßen gewässerrelevante Pflanzenschutzmittel zur Vermeidung von Schadstoffanreicherungen im Boden und zur Minimierung von diffusen Schadstoffeinträgen in den Gewässern, (s.a. DVGW-Positionspapiers „Gewässerschutz und chemischer Pflanzenschutz“ [DVGW 2011a])
- Insbesondere in Gebieten mit Trinkwassergewinnung empfiehlt sich der Abschluss spezieller Verträge über den "gewässerschützenden Anbau, Lieferung und Abnahme von Pflanzen zur Verwendung in Biogasanlagen" zwischen den Anlagenbetreibern und den Landwirten

Handlungsempfehlungen für die Düngepraxis

- Die organische Düngung ist aus Sicht des Gewässerschutzes in empfindlichen Gebieten auf eine Stickstoff-Ausbringungsmenge unter Einbeziehung des Gärproduktes zu begrenzen:

- Außerhalb von Wasserschutz- bzw. Wassereinzugsgebieten max. 170 kg N/ha
- Innerhalb Wasserschutz- bzw. Wassereinzugsgebieten max. 120 kg N/ha
- Diese Begrenzung soll für den einzelnen Schlag und nicht nur für den Betriebsdurchschnitt gelten.
- Es wird die Einführung einer „Hofor–Bilanz“ empfohlen mit Feststellung und ohne Abzug der Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste. Darüber hinaus sollte zur Plausibilitätsprüfung eine Schlagbilanzführungspflicht eingeführt werden (durch Ergebnisvergleich Hofor–Bilanz und aggregierte Schlagbilanzen).
- Bei der Berechnung des Düngedarfs ist der voraussichtlich pflanzenverfügbare N-Anteil des Düngers zu berücksichtigen.
- Die Nährstoffgehalte (N, P, K) der Gärprodukte sind bei der Düngung zu berücksichtigen (gesamte Stickstoffmenge des Gärproduktes, inkl. Stickstoffanteil pflanzlicher Herkunft). Hier ist insbesondere auch zu berücksichtigen, dass die Düngewirkung i. d. R. über mehrere Jahre anhält.
- Entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W 104, soll ein Stickstoffbilanzüberschuss von 40 kg N/(ha x a) im Dreijahresmittel nach Berücksichtigung der gasförmigen Verluste nicht überschritten werden (Hofor- oder Einzelschlagbilanz). Anm.: Bei geringer Grundwasserneubildung sind geringere Werte für den Stickstoffbilanzüberschuss erforderlich.
- Grundnährstoffuntersuchung der Böden mit Gärproduktausbringung alle drei Jahre

Handlungsempfehlungen für das Gärrestmanagement

- Die landbauliche Verwertung der Gärprodukte muss entsprechend der Düngeverordnung nachvollziehbar dokumentiert und von den zuständigen Behörden kontrolliert werden. Eine Querinformation an die Wasserbehörden ist anzustreben (Mengen, Art der Gärprodukte, Flächen).
- Bei der Ausbringung der Gärprodukte ist grundsätzlich eine emissionsmindernde Technik anzuwenden und soweit möglich, eine unverzügliche Einarbeitung vorzunehmen.
- Keine Gärproduktausbringung zwischen dem 01.09. und dem 28.02. des Folgejahres.
- zu Oberflächengewässern ist ein Abstand von 10 m einzuhalten.
- keine Ausbringung von Gärprodukten in der Schutzzone II ausgewiesener oder geplanter Wasserschutzgebiete oder innerhalb der 50-Tage-Linie von Grundwassergewinnungsanlagen
- Eine Ausbringung von Gärprodukten innerhalb ausgewiesener oder geplanter Schutzgebiete für Talsperren mit Trinkwassergewinnung ist nur nach einer standortspezifischen Bedarfs- und Gefährdungsanalyse (Einzelfallprüfungen) und der Erstellung eines jährlich fortzuschreibenden qualifizierten Flächennachweises zulässig. Auf eine Ausbringung ist zu verzichten, wenn

die Flächen in Abhängigkeit von Hangneigung und Hanglänge erosions-/abschwemmungsgefährdet sind.

- Es dürfen nur Gärprodukte ausgebracht werden, deren Qualität durch ein verbindliches Gütesystem gesichert wird. So wird eine ordnungsgemäße Deklaration unter Angabe von Herkunft, Art und Menge der verwendeten Energiepflanzen, Wirtschaftsdünger und Ko-Fermentationssubstrate sowie Nährstoff- und Schadstoffgehalte (Schwermetallgehalte und der organischen Schadstoffe) sowie ein Nachweis der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit gemäß BioAbfV eingefordert. Bei der Anwendung von Gärprodukten aus Ko-Fermentationssubstraten außerhalb von Wasserschutzgebieten und aus Sicht des Gewässerschutzes empfindlichen Gebieten ist grundsätzlich der Nachweis einer Güte-/Qualitätssicherung zu erbringen und durch Prüfdokumente zu belegen. Ko-Fermentationssubstrate sind Bioabfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs gemäß Anhang 1 der BioAbfV. Für konkrete Anforderungen an die Ausbringung von Gärprodukten in Wasserschutzgebieten wird auf die DVGW-BGK-Information „Eignung von Gärprodukten aus Biogasanlagen für die landbauliche Verwertung in Trinkwasserschutzgebieten für Grundwasser“ verwiesen [DVGW 2013].
- Vor der Anwendung von Gärprodukten im eigenen Betrieb oder bei deren Abgabe müssen grundsätzlich zeitnahe Untersuchungsergebnisse zu den Nährstoffgehalten vorliegen, um so eine bedarfsgerechte Anwendung umsetzen zu können (für Düngeplanung und Bilanzerstellung obligatorische Nährstoffanalysen organischer Nährstoffträger mind. 1x jährlich, sonst nach jeder Änderung Tierfütterung, -haltung, Fermenterbeschickung)
- Sofern die Unbedenklichkeit in Bezug auf Human- und Tierpharmaka, Antibiotika, Industriechemikalien mit endokrinem Wirkungspotenzial und weitere Schad- und organische Spurenstoffe nicht sicher gegeben ist, bzw. eine Belastung zu vermuten ist, ist die landwirtschaftliche Verwertung auszuschließen.

Als ein Weg, um einen gewässerschützenden Pflanzenanbau zu erreichen, wurde eine Checkliste für die Biogaserzeugung für den Anbau von Energiepflanzen und das Gärproduktmanagement erstellt (s. Anlage A1). Als Basis für den Entwurf der Checkliste dienten die im Rahmen des DVGW-Forschungsvorhabens W 1/03/05 erarbeiteten Leitlinien [KIEFER & BALL 2008] und [DVGW 2010a].

Es bleibt anzumerken, dass es sich hierbei um eine Liste handelt, welche länderspezifische Unterschiede nicht berücksichtigt, wie z. B. Anbaugewohnheiten, Art und Umfang von Tierhaltungen oder gesetzliche Regelungen. Ggf. sind daher länderspezifische Anpassungen erforderlich. In diesen Fällen ist die Liste als „Basiszusammenstellung“ zu verstehen, die entsprechende Hinweise und Anregungen für länderspezifische Listen geben soll.

Die Checkliste soll der genehmigenden und kontrollierenden Behörde als Hilfe für den gewässerschützenden Umgang mit Gärprodukten in sensiblen Gebieten dienen, den Gewässer schützenden Anbau von Energiepflanzen befördern und den Behörden Hilfestellungen für die Genehmigung von Biogasanlagen geben. Die Biogasanlagen selbst inkl. der Lager wurden dabei jedoch nicht näher betrachtet.

10.2 Für die politischen Entscheidungsträger

Aus der hier vorgelegten Studie kann zunächst generell abgeleitet werden, dass Ausbaupotenziale für die Biogastechnologie trotz definierter Einschränkungen zur Nachhaltigkeit bestehen. Allerdings legt die Studie nahe, regionale Differenzierungen hinsichtlich des Anbaus und der Nutzung von Biomasse vorzunehmen. So sind durch die historische intensive landwirtschaftliche Nutzung insbesondere in Regionen mit starker Tierproduktion die in dieser Studie definierten Nachhaltigkeitskriterien teilweise nicht erfüllt. „Nachhaltige Bewirtschaftung“ sollte gerade die Belange der betroffenen Ökosysteme (z. B. Trinkwasser, Böden, Luft) einer Region im Sinne der Einhaltung festgelegter Qualitätskriterien mit aufgreifen und so zu nachhaltigen Lösungen gelangen, die ökologisch vorteilhafter sind als die aktuell häufig durch eine rein energiewirtschaftliche Sichtweise geprägte Situation.

10.2.1 Handlungsempfehlungen für die Legislative

Bundeseinheitliche Genehmigungsverfahren für Biogasanlagen

Die aktuelle rechtliche Genehmigungspraxis (Baurecht, mit/ohne BImSchV, EEG) wurde verglichen sowie mögliche Einfluss- bzw. Steuerungsmöglichkeiten eruiert. Hinsichtlich der Genehmigung von Biogasanlagen existieren in den einschlägigen Vorschriften (BImSchG [BImSchG 2002], 4. BImSchV [4.BImSchV 2013], UVPG [UVPG 2010]) verschiedene Grenzen hinsichtlich der eingesetzten Abfallmenge, der Feuerungswärmeleistung (BHKW, Gasturbine), der Lagerung brennbarer Gase, der Größe der Substratlager oder der produzierten Rohgasmenge, ab deren Überschreitung eine Genehmigung nach immissionsschutzrechtlichem Verfahren erforderlich ist. Bei Anlagen, die diese Grenzen unterschreiten, erfolgt die Genehmigung i. d. R. nach dem einfacheren baurechtlichen Genehmigungsverfahren.

Es hat sich gezeigt, dass insbesondere kleinere Biogasanlagen, die allein über das Baurecht genehmigt wurden, bei Kontrollen relativ häufig negativ auffallen. Bei der Genehmigung derartiger Anlagen wird die umweltrechtliche Fachbehörde meist nicht mit einbezogen. Dies wird als wesentlicher Mangel des aktuellen Genehmigungsverfahrens gesehen und sollte dringend verbessert werden.

Um die Einhaltung der umweltrechtlichen Vorschriften inkl. der Vorgaben hinsichtlich des Gewässerschutzes zu überprüfen, wird dringend empfohlen, die zuständigen Umwelt-/ Wasserbehörden auch bei Vorhaben nach dem vereinfachten Baurecht in das Genehmigungsverfahren einzubeziehen. Dafür sollte ein bundeseinheitliches Genehmigungsverfahren auf BImSchG-Basis für alle Biogasanlagen geschaffen werden [KIEFER 2009]. Dieses Genehmigungsverfahren sollte Vereinfachungen nach der Anlagengröße zulassen. Nur dadurch ist sichergestellt, dass die Voraussetzungen zur Einhaltung der umweltrechtlichen Auflagen geschaffen werden und geprüft werden kann.

Überarbeitung der Düngeverordnung

Innerhalb der Studie ist ausführlich auf die Zusammenhänge zwischen Düngung und Belastung der Wasserressourcen eingegangen worden. Langfristig sind die Regelungen in der gegenwärtigen Düngeverordnung nicht geeignet diese Res-

sources nachhaltig zu sichern. Dies ist besonders relevant in Regionen, in denen bedingt durch eine intensive Pflanzenproduktion und Tierhaltung die maximalen Düngemengen ausgeschöpft werden. Zukünftig sollte daher das landwirtschaftliche Fachrecht, speziell die darin geregelte Düngeplanung hinsichtlich der Empfehlungen aus dem Abschnitt 10.1 „Handlungsempfehlungen für die Düngepraxis“ und „Handlungsempfehlungen für das Gärrestmanagement“ erweitert werden.

Förderung der Einspeisung

Wie aus dem Abschnitt 9.3 zu entnehmen ist, wird ein hoher Anteil des nachhaltigen Biogaspotenzials bereits durch bestehende Biogasanlagen ohne Einspeisung genutzt. Der verbleibende Teil für den Neubau von Anlagen mit Einspeisung reicht auch unter der Berücksichtigung einer Verbesserung von Boden und Trinkwasserressourcen nicht aus um die festgeschriebenen Ziele der GasNZV unter den Gesichtspunkten einer nachhaltigen Biogaserzeugung zu erreichen. Analysiert man jedoch die Situation der bestehenden Biogasanlagen mit einer Vor-Ort-Verstromung, zeigt sich, dass eine deutliche Steigerung der Energieausnutzung möglich ist. Die Ursache liegt im geringen Anteil externer Wärmenutzung begründet. Dieser beträgt nach [DBFZ 2013] basierend auf einer Umfrage von über 300 Anlagenbetreibern ca. 56 %. Gleichzeitig wird darauf verwiesen, dass der Anteil der externen Wärmenutzung in der Gesamtheit zwischen 0 und 100 % variiert. Demnach ist eine Prüfung einer Biomethaneinspeisung insbesondere von Standorten ohne bzw. mit geringer externer Wärmenutzung zu empfehlen. Mit einer Einspeisung in das Erdgasnetz werden nicht nur Systeme mit sehr hohen Gesamtnutzungsgraden erreicht, sondern durch eine zentrale Speicherung der kontinuierlich erzeugten Gase im Erdgasnetz wird eine saisonale Verschiebung der erneuerbaren Energie zum Ausgleich des schwankenden Bedarfes erreicht. Die GIS-Analysen zeigen auch, dass Anschlussmöglichkeiten an das Erdgasnetz bestehen und die Kapazitäten für die Fortleitung bis auf wenige Ausnahmen verfügbar sind.

Dieser Argumentation folgend wird empfohlen einen stärkeren Fokus auf die Aufbereitung und die Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz zu legen. Dies sollte sowohl auf den Neubau von Biogasanlagen als auch auf die Umrüstung bestehender Anlagen angewendet werden. Dabei stehen nicht nur große Anlagen im Vordergrund sondern auch Cluster kleinerer Biogasanlagen, die gemeinsam eine Aufbereitungs-/Einspeiseanlage bedienen.

10.2.2 Exekutive – Genehmigungspraxis

Berücksichtigung von Umwelt- und Wasserschutz-Belangen durch die genehmigenden Behörden

Bereits in der konzeptionellen Vorplanungsphase von Biogas- und Einspeiseanlagen sind ausgewiesene Vorzugsgebiete und konkret zu benennende Standorte von Biogas- und Einspeiseanlagen hinsichtlich einer möglichen Umweltgefährdung zu beurteilen. Dies kann in Form einer Gefährdungsabschätzung im Sinne der §§ 7 und 9 BBodSchG erfolgen.

Wie bereits im Abschnitt 10.1 angemerkt, sollte während des Genehmigungsverfahrens auch für kleine Biogasanlagen die zuständigen Wasser- als auch die Umweltschutzbehörden eingebunden werden. Als Unterstützung kann hier die in Anlage A1 beigefügte Checkliste herangezogen werden.

Für Gebiete mit bereits hoher Nitratbelastung des Grundwassers (gefährdete Grundwasserkörper nach EG-Wasserrahmenrichtlinie (siehe Kapitel 3.1.2.1) wurde die Restriktionsklasse R5 festgelegt. Ein weiterer Biogasanlagenzubau ist dort unter Nachhaltigkeitsaspekten nur mit der Einführung eines Nährstoffmanagements bei Substitution des ausgebrachten Mineraldüngers durch Gärprodukte, Einschränkung der Düngungshöhe oder N-Export möglich.

Der Bau von Biogasanlagen sollte aus Vorsorgegründen möglichst außerhalb von Wasserschutzgebieten erfolgen. Ausnahmen sind innerhalb der Schutzzone III möglich. Die Festsetzung von Schutzgebieten erfolgt durch Rechtsverordnung der zuständigen Behörde. Ein wesentlicher Beitrag zur Sicherung der Grundwasserqualität kann in diesen Fällen beispielsweise durch eine entsprechende Ausgestaltung von Wasserschutzgebietsverordnungen geleistet werden. Diese können in der Weise erstellt sein, dass erfolgsorientierte Kooperationsvereinbarungen zwischen Landwirten und Wasserversorgern erarbeitet werden, bei denen die Landwirte, im Gegensatz zu sonst üblichen erfolgsunabhängigen pauschalen Ausgleichszahlungen, nur dann Ausgleichszahlungen erhalten, wenn sie niedrige Nitratgehalte im Boden erreichen.

Um diesbezüglich entsprechende Planungsinstrumente zur Verfügung zu haben, empfehlen sich der Aufbau und die Pflege von Geoinformationssystemen (GIS). Für die Behörden welche sich mit Genehmigungs- und Überwachungsfragen beschäftigen müssen, wird ein mindestens regionales Geoinformationssystem vorgeschlagen. In diesem sollten alle boden- und wasserwirtschaftlich relevanten Daten und Informationen zusammengeführt werden. Damit könnten verschiedene fachspezifische Fragestellungen und Auswertungen bearbeitet werden. Durch eine erheblich verbesserte Übersicht wären nicht gewünschte Entwicklungen frühzeitiger zu erkennen. Zudem könnten bestimmte (erwünschte) Entwicklungen für landwirtschaftliche Betriebe empfohlen und gefördert werden. Eine deutschlandweite Datenbank wäre insbesondere zur Harmonisierung der Genehmigungspraxis und für die transparente Entwicklung von Steuerungsmaßnahmen wünschenswert.

Parallel dazu bietet sich der Aufbau eines frei zugänglichen Geoinformationssystems an, in dem bundesweit einheitlich Biomassepotenziale zur energetischen Nutzung ausgewiesen und transparent die zu Grunde gelegte Methodik beschrieben wird. Studien, die auf einer solchen Datenbasis durchgeführt werden, könnten damit einfacher miteinander verglichen werden.

Überwachung der Düngepraxis

Ziele organisatorischer und technischer Maßnahmen im Zusammenhang mit Produktion und Verteilung von Biogas müssen darauf ausgerichtet sein, sowohl den möglichen Austrag aus Biogas- und Einspeiseanlagen (Emissionen) als auch den Eintrag (Immissionen) in die Umwelt und insbesondere in Schutzgüter wie z. B. Wasser auf ein umweltverträgliches Minimum zu begrenzen. Dies gilt bei Biogasanlagen für die anfallenden Gärprodukte sowie die Düngepraxis der landwirtschaftlichen Betriebe.

Die durch die Verbringungsverordnung [WDüngeV 2010] (siehe Kapitel 3.1.3.2) in § 5 festgeschriebene Mitteilungspflicht sollte stärker dahingehend genutzt werden, diese Meldedaten durch zentrale Zusammenführung zur Schaffung von Transparenz und Steuerbarkeit insbesondere hinsichtlich grenzüberschreitender Gülletransporte zu nutzen. Dies ist insbesondere für den Grenzbereich zu den Niederlanden relevant, da die dort bestehende Belastungssituation durch Gülle- und Festmistimporte verschärft wird.

10.3 Für die Gasnetzbetreiber zur Entwicklung der Gasinfrastruktur

Basierend auf der Verschneidung der Biogaserzeugungspotenziale (Kapitel 6) und der minimalen Kapazitäten des Gasnetzes (Kapitel 5) in Abbildung 162 wird ersichtlich, dass in wenigen Bereichen des regionalen Verteilnetzes vor allem im norddeutschen Raum und teilweise auch in Süddeutschland die potenzielle Biogaseinspeisung die direkte Nutzung in den angeschlossenen Verteilnetzen übersteigt. Dies hat zur Folge, dass in den betreffenden Netzen Maßnahmen zur Rückspeisung oder Rückverdichtung in die vorgelagerten Netze, notwendig werden können. Eine Einspeisung in Fernleitungsnetz ist hingegen unkritisch, dieses kann die entsprechenden Mengen ganzjährig aufnehmen. Der geringfügige Nachteil durch die Verdichtung in höhere Druckstufen unterliegt dabei dem Vorteil das Gas einem breiteren Nutzerkreis Verfügung zu stellen.

Beispiele für smarte Lösungen im Bereich der optimieren Biogaseinspeisung sind Konzepte zur Kapazitätserhöhung sowie zur minimierten Konditionierung und Rückspeisung. Dazu gehören u.a. die Verbindung von geeigneten Teilnetzen, Nutzung des Netzpuffers und Optimierung der Druckfahrweise von Teilnetzen. Alle diese Ansätze zielen darauf ab, die Integration alternativer Gase in die bestehenden Infrastrukturen mittel- und langfristig effizienter zu gestalten. Detaillierte Beschreibungen der technischen Lösungen sind im Bericht „Smart Gas Grids“ [DBI 2012], welcher im Rahmen der DVGW-Innovationsoffensive erstellt wurde, enthalten. Desweiteren wurde eine Möglichkeit zur objektiven Bewertung der Lösungen entwickelt. Diese erlaubt es dem Netzbetreiber, die am besten für das jeweilige Netz geeignete Lösung zu ermitteln.

Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklungen sollten vor allem die Netzbetreiber in Gebieten mit hohem Biogaspotenzial bei ihrer Zielnetzplanung die zunehmende Biogaseinspeisung berücksichtigen und ggf. proaktiv, zusammen mit den Biogasanlagenbetreibern, optimale Standorte zur Errichtung von Biogasanlagen zur Einspeisung in das Gasnetz definieren.

11 Vergleich zu anderen aktuellen Studien

11.1 BMBF-Verbundprojekt „Biogaseinspeisung“

Das BMBF-geförderten Verbundprojekt »Biogaseinspeisung« Band 6 trägt den Namen „Entwicklung und Anwendung einer GIS-Applikation zur Standortfindung und Potenzialanalyse der Biomethanerzeugung. Räumliche ökonomisch-ökologische Bilanzierung als Bewertungsgrundlage für Energiesystemszenarien“ [BMBF 2009]. Darin wurden die Möglichkeiten und Potenziale der Biogaseinspeisung realitätsnah in den zwei Modellregionen Niederrhein und Altmark bestimmt, indem Hemmnisse bei der Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung und Verteilung von Biogas über das Erdgasnetz identifiziert und Lösungsansätze zu ihrem Abbau entwickelt wurden. Zentrales Element der Arbeiten war der Aufbau eines Geoinformationssystems (GIS) und dessen Anwendung auf die beiden Modellregionen. In einem interdisziplinären Team aus Ökonomen, Ökologen, Ingenieuren, Juristen, Raumplanern und Geographen wurden Aspekte wie

- das naturräumlich gegebene Biomassepotenzial für einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau,
- die Logistik von Biomassetransporten,
- die Optimierung von Standorten für Biogasanlagen, ihre Substratversorgung und mögliche Einspeisepunkte,
- die Auswirkungen der Biogaseinspeisung auf das Erdgasnetz,
- die politischen, rechtlichen und sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen einer nachhaltigen Biogaseinspeisung und
- die für die Erzeugung, Aufbereitung und Einspeisung von Biogas erforderlichen Technologien

untersucht.

Im Rahmen der Arbeiten wurden Technologien zur fermentativen sowie thermochemischen Erzeugung und Aufbereitung von Erdgassubstituten evaluiert und hinsichtlich der mit der Umsetzung verbundenen Kosten bilanziert. Ferner wurden die Möglichkeiten zur dynamisierten Biogasproduktion sowie die mit der Biogaseinspeisung verbundenen rechtlichen Rahmenbedingungen untersucht.

Parallel wurde ausgehend von einer analytischen Beschreibung und Bilanzierung des Technologiepfades der Biogaseinspeisung eine geeignete GIS-Applikation konzeptioniert und aufgebaut. Dazu wurden verschiedene Datensätze (landwirtschaftliche Flächen, Tierhaltungsstandorte, Straßennetzwerke, Daten zur aktuellen Flächennutzung sowie zum Natur- und Landschaftsschutz, Daten zur Gasnetzinfrastruktur sowie Einspeisepunkten) in Datenbanken zusammengetragen und mit statistischen Kennzahlen zu landwirtschaftlichen Erträgen, verfahrenstechnischen Parametern, sowie aktuellen Kenndaten zu Kosten und Emissionen kombiniert.

Die so entstandene Applikation ermöglicht eine anlagenbezogene Bilanzierung der Treibhausgasemissionen (THG), der real verfügbaren Biomassepotenziale und der Kosten für deren Erschließung. Zusätzlich können Aussagen zum THG-Minderungspotenzial, Biogaspotenzial sowie des nötigen Investitionsbedarfs für ganze Regionen abgeleitet werden.

Aus Sicht des Klimaschutzes ist zusätzlich zur Ausweitung nachwachsender Rohstoffe als Substrat für Biogasanlagen vor allem die Aktivierung von Wirtschaftsdünger oberstes Gebot, da Gülle-Biogasanlagen teilweise als Treibhausgas-senken wirken. Über den gesamten Prozess betrachtet sind insbesondere im Bereich Biomasseanbau (Düngung), Biogaserzeugung, aber auch bei der Biogasaufbereitung weitere THG-Minderungseffekte erreichbar. Demgegenüber spielt aufgrund der langen Wertschöpfungskette die Substratlogistik (Transportentfernungen) bei der Emissionsbilanz nur eine untergeordnete Rolle. Weiterhin sind große Biogasanlagen mit Gaseinspeisung energieeffizienter und klimafreundlicher als kleinere Anlagen.

Als Grundlage zur Entwicklung einer langfristigen Biomethan-Strategie wurden Szenariorechnungen bis zum Jahr 2050 durchgeführt, wobei die Annahmen zur Änderung auf der Angebotsseite zur Biogaserzeugung als auch der Nachfrageseite im Energiesystem an dem BMU-Leitszenario angelehnt sind. Die Betrachtungen zeigen, dass über den Betrachtungszeitraum bis 2050 viele Optionen existieren, Biomethan so einzusetzen, dass Treibhausgasemissionen vermieden und ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden kann.

Für Deutschland wurde unter Beachtung der Nachhaltigkeitskriterien aus dem BMU-Leitszenario sowie agrarökonomischer Gegebenheiten ein Biomasseeinspeisepotenzial von 3,9 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr für 2020 und 7 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr für 2030 abgeleitet. Das hiermit verbundene 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. Nm³ (2030: 6,4 Mrd. Nm³) sowie das Klimaschutzpotenzial auf Werte zwischen 4 und 15 Mio. t CO₂-Äquivalente (2030: zwischen 7 und 25 Mio. t).

Infrastrukturelle Hemmnisse bei der Erschließung des deutschlandweiten Biogaspotenzials wurden nicht festgestellt, bzw. sind durch sorgfältige und detaillierte Planung grundsätzlich zu überwinden.

Die im Projekt Biogaseinspeisung genutzten Szenariengrundlagen, die eine Anpassung des BMU-Leitszenarios darstellen, sind ebenfalls im Projekt Biogasatlas genutzt worden um eine zeitliche Entwicklung der nutzbaren Biomethanpotenziale aufzuzeigen. Die Berechnung der Biomethanpotenziale im Projekt Biogaseinspeisung weist durch die Anwendung von Geoinformationssystemen zum Teil Übereinstimmung in der Methodik auf. Allerdings erstrecken sich die GIS-Berechnungen im Projekt Biogasatlas auf ganz Deutschland, wogegen im Projekt Biogaseinspeisung das Gesamtpotenzial für Deutschland auf einer Hochrechnung aus zwei Modellregionen basiert. Das im Projekt Biogaseinspeisung berechnete nachhaltig erschließbare landwirtschaftliche Gesamtpotenzial ohne Strohnutzung liegt bei 7 Mrd. Nm³ Biomethan und liegt damit leicht unter dem im Projekt Biogasatlas ermitteltem Potenzial für Landwirtschaft ohne Stroh von 7,7 Mrd. Nm³ im

Jahr 2030. Die Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen den Studien kann jedoch als gut bezeichnet werden.

11.2 Leopoldina-Studie: „Bioenergie – Möglichkeiten und Grenzen“

Nach Schulze und Körner [LEOPOLD 2012] verbietet sich die direkte Nutzung von Biomasse als Rohstoff für industrielle energetische Nutzung wegen der geringen Effizienz und der vielfältigen Nebenwirkungen. Sie sollte auf die Nutzung nach einer Produktkette (Verbrennung von z.B. Sägeabfälle, Lebensmittelreste oder Altpapier) beschränkt werden. Die Nutzung von Biomasse ist nach Abzug der fossilen Prozessenergie noch nicht spurengasneutral und damit nicht klimaschonend. Die Erzeugung von Biomasse ist in der Landwirtschaft nicht nachhaltig. Es kommt bei der derzeitigen Bewirtschaftungsintensität zum Abbau von altem Bodenkohlenstoff. Rein rechnerisch ist die Produktionsfläche von Deutschland nicht ausreichend, um signifikante Einsparungen in der Nutzung an fossilen Brennstoffen zu erreichen. Die derzeitigen Umwidmungen der Flächen sind nur möglich durch Futtermittelimporte aus dem Ausland [LEOPOLD 2012].

Aus all den zuvor genannten Gründen und trotz eines noch bestehenden Forschungsbedarfs hinsichtlich der Gesamtbilanzen postulieren Schulze und Körner, dass die Vorstellung, durch primäre Nutzung von Biomasse oder pflanzlicher Öle für energetische Zwecke den drohenden Klimawandel nennenswert abzuschwächen, falsch ist. Dies gilt auch für die direkte Umwandlung von Biomasse in andere Trägergase, denn die sekundäre Verarbeitung ändert nichts an dem Grundproblem der begrenzten Produktionsfläche und der Emissionen auf der Erzeugerfläche. Selbst wenn Biomasse unter dem Gesichtspunkt der heimischen Wertschöpfung genutzt wird, obgleich die Auswirkungen auf den Klimawandel kaum geringer sind als bei fossiler Nutzung, ist diese Nutzung selten nachhaltig. Sie geht auf Kosten der Bodenfruchtbarkeit, der Waldgesundheit und der Naturräume in anderen Ländern, die dann Lebensmittel und andere organische Substanzen für Europa produzieren.

Entsprechend den Empfehlungen bezüglich der Verwendung von Biomasse als Energiequelle sollte Deutschland nach Auffassung der Autoren der Leopoldina-Studie nicht den weiteren Ausbau von Bioenergie anstreben, um den Verbrauch von fossilen Brennstoffen und die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren.

Deutschland sollte sich auf andere erneuerbare Energieressourcen konzentrieren wie Photovoltaik, Solarthermie und Windenergie, deren Flächeneffizienz höher und andere Umweltbeeinträchtigungen niedriger sind als die von Bioenergie. Die Einsparung von Energie und Verbesserungen der Energieeffizienz sollten Vorrang haben.

Die Förderung von Bioenergie sollte sich auf Formen beschränken, die weder zur Verknappung von Nahrungsmitteln führen noch deren Preise durch Wettbewerb um Land und Wasser in die Höhe treiben. Darüber hinaus sollten diese Formen der Bioenergie keinen größeren negativen Einfluss auf Ökosysteme und Biodiver-

sität haben und eine substanziell bessere Treibhausgas-Bilanz aufweisen als die fossile Energie, die sie ersetzen.

Ein durchaus signifikantes Bioenergiepotenzial lässt sich erschließen, indem die Nahrungsmittel- und Bioenergieproduktion kombiniert und dadurch optimiert wird. Beispiele hierfür sind die Verwendung von Mist und Gülle aus der Tierhaltung und der Einsatz von Lebensmittelabfällen und pflanzlichen Reststoffen. Allerdings gilt es darauf zu achten, dass von pflanzlichen Resten wie Stroh nur ein begrenzter Anteil für Bioenergiezwecke genutzt werden kann, da genügend Biomasse auf den Feldern verbleiben sollte, um die Bodenfunktionen zu erhalten. In Zukunft ist es daher geboten, mehr pflanzliche Reste den Böden zurückzuführen.

Es besteht noch technisches Potenzial, die landwirtschaftlichen Erträge global zu erhöhen, Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass verlassene Ackerflächen häufig wichtige CO₂-Senken sind, indem sie sich allmählich in Wald umwandeln. Deshalb müssen bei der Nutzung dieser Flächen für die Produktion von Energiepflanzen alle THG-Konsequenzen gegeneinander abgewogen werden, ehe Programme zur Realisierung dieses Potenzials beschlossen werden.

Entsprechend der Empfehlungen bezüglich der Umwandlung von Biomasse in Brennstoffe und in Vorstufen für chemische Synthesen können Biogasanlagen effizienter in kleinem und mittlerem Maßstab in landwirtschaftlichen Gegenden dezentral betrieben werden als in Großanlagen, da der Aufwand für den Transport von Substraten und Produkten in der Regel geringer ist.

Biogas-Reaktoren lassen sich zudem vorteilhaft mit der Produktion von Ethanol koppeln. So kann eine Ethanol-Produktion aus Weizen oder Triticale ökonomisch und ökologisch sein, wenn sie mit einer Biogas-Produktion zur Verwertung aller Nebenprodukte kombiniert wird.

Die Produktion von Biogas aus landwirtschaftlichen und häuslichen Abfällen sollte, auch unter dem Gesichtspunkt der Entsorgung, weiterentwickelt werden, soweit eine direkte Verbrennung oder Vergasung (Pyrolyse) nicht vorzuziehen ist. Die Abwägung zwischen diesen Techniken ist im Wesentlichen abhängig vom Wassergehalt der Abfallmaterialien: Je geringer der Wassergehalt, desto eher empfiehlt sich eine Verbrennung oder Vergasung. Die Produktion von Biogas aus „Energiepflanzen“ sollte nur insoweit erfolgen, als sie dazu beiträgt, die Biogasproduktion aus Agrarabfällen und den fluktuierenden Energiebedarf zu stabilisieren und zu optimieren.

Aufgrund teils kontroverser Diskussionen wurden im Rahmen eines Leopoldina-Gesprächs in Berlin die Ergebnisse der Bioenergie-Studie gemeinsam mit den Leopoldina-Wissenschaftlern noch einmal ausführlich präsentiert und diskutiert. Die wichtigsten Ergebnisse werden hier ebenfalls wiedergegeben (*Krieg, aid, 2012*):

- Nach Professor Rudolf Thauer vom Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie, sei es nicht Ziel der Studie gewesen, die Nutzung von Bioenergie als solche in Frage zu stellen, sondern vielmehr die Grenzen der Verfügbarkeit, die geringe Energiedichte, den Verlust an Biodiversität und Bodendegradation aufzuzeigen. Auch die Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion vergrößere den Überhang der Nachteile. Allerdings würden in der Studie alle Formen der Bioenergie von Biogas bis zum Holz untersucht und

die Verwertung biogener Abfallstoffe im Kaskadensystem sogar ausdrücklich gelobt. Gegenüber Wind und Sonne könne Biomasse die aufgebaute Energie auch speichern. Daher sei von einer Einstellung der Energiegewinnung aus Biomasse nicht die Rede gewesen, sondern von einem Einhalt des Ausbaus.

- Professor Daniela Thrän vom Deutschen Biomasseforschungszentrum erinnerte daran, dass die derzeit genutzte Biomasse etwa für die Hälfte der reduzierten Treibhausgase positiv zu Buche schlage. Die Diskussion um die Nutzung von Bioenergie dürfe das übergeordnete Ziel Klimawandel nicht aus den Augen verlieren.

In der Leopoldinia-Studie wird einerseits ein Einhalt des Ausbaus der Energiegewinnung aus Biomasse aus verschiedenen Gründen gefordert (Grenzen der Verfügbarkeit, geringe Energiedichte, Verlust an Biodiversität, Bodendegradation, Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion). Andererseits werden jedoch die Verwertung biogener Abfallstoffe im Kaskadensystem sowie die Speichermöglichkeit als Vorteile der Biogaserzeugung im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien genannt.

Im Vergleich hierzu wurden im Biogasatlas sämtliche zur Biogaserzeugung in Biogasanlagen einsetzbaren Energieträger, einschließlich der Rest- und Abfallstoffe in die Potenzialberechnungen einbezogen. Um einigen bekannten und auch in der Leopoldiniastudie aufgeführten Nachteilen der Biogaserzeugung – soweit möglich - entgegenzuwirken, wurden verschiedene Nachhaltigkeitskriterien definiert (vgl. Abschnitte 3.3, 4.2 und 9.1) und bei den weiteren Potenzialberechnungen berücksichtigt, soweit dies grundsätzlich möglich war.

Die in der Leopoldinia-Studie aufgeführte einfache Speichermöglichkeit von Biogas (z. B. im vorhandenen Erdgasnetz) ist derzeit ein grundsätzlicher Vorteil der Biogaserzeugung gegenüber anderen erneuerbaren Energieträgern (z.B. Sonne, Wind), die allerdings auf die Potenzialberechnungen des DVGW-Vorhabens keinen Einfluss nahm.

11.3 BMU-Leitstudie „Leitstudie 2010“

Die Studie „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“ [BMU 2012b] untersucht Szenarien für eine zukünftige Energiebereitstellung bis zum Jahr 2050 in Deutschland, wobei eine deutliche CO₂-Reduktion vorausgesetzt bzw. als Ziel definiert wird. Um dieses Ziel zu erreichen sind die Substitution von fossilen Energieträgern regenerative Energiequellen sowie die Effizienzsteigerung die wesentlichen Instrumente.

In dieser Studie wurden technische, strukturelle und gesellschaftliche Randbedingungen beachtet, um Hemmnisse zu identifizieren, Anreize zu definieren und daraus energiepolitische Instrumentarien abzuleiten, die für die Erreichung der Ziele notwendig erscheinen. Die demografischen und ökonomischen Randbedingungen wurden der Leitstudie aus dem Jahr 2010 weitestgehend übernommen. Hierbei

wird die Konkurrenzsituation zur Nahrungsmittelproduktion, der allgemeine Umweltschutz sowie die Umweltgefährdung durch zu intensiven und unsachgemäßen Anbau von Energiepflanzen mit berücksichtigt und diese als Randbedingungen für ein ökologisch begrenztes Potenzial verwendet. Aufgrund ökologischer Bedenken und problematischer Nachweismethoden werden in dieser Studie Biomasseimporte ausgeschlossen. Hingewiesen wird beim Einsatz von biogenen Energieträgern auf die begrenzte Verfügbarkeit und somit die dadurch bedingte Notwendigkeit der energetisch optimalen Nutzung. Zudem müssen biogene Kraftstoffe auf ihre Klimawirksamkeit hin untersucht werden.

In dieser Studie wird in den Szenarien eine erhebliche Erhöhung des Anteils der regenerativen Energiequellen zur Energiebereitstellung unterstellt. Dies bedeutet, dass auch die biogenen Energieträger innerhalb der Rahmenbedingungen ausgereizt werden. Zu beachten ist, dass ab 2030 der Einsatz biogener Energieträger in allen Sektoren nicht weiter erhöht wird und somit dann das Potenzial ausgeschöpft ist. Ferner wird in der Studie darauf hingewiesen, dass biogene Energieträger in Ballungsräumen kaum aber dagegen in ländlichen Gebieten (insbesondere in der Wärmenutzung) eingesetzt werden.

Das ökologisch begrenzte also nachhaltige Potenzial wird in dieser Studie mit 1.550 PJ/a für das Jahr 2030 angegeben. Davon sind 800 PJ/a biogene Rest- und Abfallstoffe (Summe aus 640 PJ/a feste Biomasse und 160 PJ/a vergärbare Biomasse). Hierbei werden 2010 bereits 500 PJ/a genutzt. Die restlichen 750 PJ/a sind Energiepflanzen.

Aufgrund der ganzheitlichen Betrachtung von Biomasse in [BMU 2012b] sind die Zahlen schwer mit den in dieser Studie ermittelten Potenzialen vergleichbar. Für das Jahr 2030 wird beispielsweise ein wirtschaftlich, nachhaltiges Gesamtpotenzial von 370 PJ/a (10,3 Mrd. Nm³ CH₄/a) prognostiziert. Dieses weitaus geringere Potenzial berücksichtigt ausschließlich die Biogaserzeugung, während in [BMU 2012b] zusätzliche Wertschöpfungspfade, z.B. Verbrennung fester Biomasse, betrachtet werden. Dennoch stimmt das in dieser Studie ermittelte Potenzial für 2030 mit den Untersuchungen in der „Leitstudie 2010“ überein. Denn für die Biogaserzeugung wird ein maximales, nachhaltig-wirtschaftliches Potenzial von 300 PJ/a benannt [BMU 2012b, S. 96]. Da keine substratspezifische Potenzialbestimmung dargestellt ist, erübrigt sich eine genauere Analyse der bestehenden Unterschiede.

Insgesamt steht als potenzielle Ackerfläche für den Energiepflanzenanbau 4,2 Mio. ha zur Verfügung. 2011 werden jedoch schon 47 % genutzt, wobei ca. 1,17 Mio. ha hauptsächlich für Kraftstoffe (hauptsächlich Raps) und ca. 0,8 Mio. ha (hauptsächlich Mais) für die Biogaserzeugung verwendet werden. 2050 wird für die Bereitstellung von Energiepflanzen (ohne flüssige Kraftstoffe) in den Szenarien ca. 1,9 Mio. ha berechnet. Davon sind ca. 1 Mio. ha für Biogas und ca. 0,9 Mio. ha für Holz vorgesehen. Zusätzlich werden 100 % der Rest/Abfallstoffe zur Wärmeerzeugung und KWK-Nutzung eingesetzt.

Besonders die Größenordnung der Flächennutzung stimmt mit den Analysen dieser Studie überein. So wird im Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ der Ausbau des Energiepflanzenanbaus (Mais) von derzeit 0,7 Mio. ha auf 1,6 Mio. ha dargestellt.

11.4 FNR-Forschungsprojekt „Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft“

Der vom Institut für Energetik und Umwelt gGmbH erstellte Abschnitt 2 „Erhebung der mit Trockenfermentationsverfahren erschließbaren energetischen Potenziale in Deutschland. Vergleichende ökonomische und ökologische Analyse landwirtschaftlicher Trockenfermentationsanlagen“ des Forschungsvorhabens „Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft“ [SCHOLWIN 2007] beinhaltet eine Erhebung des mit Feststoffvergärungsverfahren (Trockenfermentation) in Deutschland erschließbaren energetischen Potenzials. Die jeweiligen Kosten der gängigsten Verfahren unterschiedlicher Anlagengrößen werden in der anschließenden ökonomischen Analyse dargestellt. Des Weiteren wird das Trockenfermentationsverfahren unter wirtschaftlichen Bedingungen mit der Nassfermentation verglichen und eine abschließende ökologische Beurteilung der Feststoffvergärung durchgeführt.

Die bundesdeutsche Potenzialanalyse erfolgt für die gleichen Substratgruppen, die auch im DVGW-Biogasatlas untersucht wurden:

- Industrie und Gewerbe
- Kommune
- Landwirtschaft

Jedoch wurden im Vergleich zur vorliegenden Studie keine standortgenauen Daten verwendet, sondern lediglich gesamtdeutsche Zahlen bzw. Potenziale angegeben. Die Auswertungsmethodik jedoch basiert, vor allem im Bereich der industriellen und kommunalen Abfälle, zum Teil auf den gleichen Ausgangsdaten, die auch für den DVGW-Biogasatlas genutzt wurden. Die Verteilung des Energiepotenzials nach Stoffklassen zeigt demnach auch einen ähnlichen Trend, der auch im DVGW-Biogasatlas ermittelt wurde. So machen die landwirtschaftlichen Einsatzstoffe den größten Teil des Potenzials aus gefolgt von industriellen und kommunalen Substraten. Ein Vergleich der Substratgruppenpotenziale (Abbildung 163) zeigt sowohl Übereinstimmung (Kommune) als auch größere Abweichungen (Industrie). Die Abweichungen haben unterschiedliche Ursachen. Zum einen werden teilweise verschiedene Substrate betrachtet (z.B. im DVGW-Biogasatlas kartoffelverarbeitende Industrie, während in [SCHOLWIN 2007] Saffherstellung berücksichtigt wird), zum anderen liegen unterschiedliche substratspezifische Annahmen zugrunde, beispielsweise welche Schlachttreste für eine Vergärung in Frage kommen. Des Weiteren spielt der Datenbestand sowohl von der Aktualität als auch vom Umfang eine bedeutende Rolle. So liegen z.B. in [SCHOLWIN 2007] keine standortgenauen Daten über industrielle Reststoffe vor.

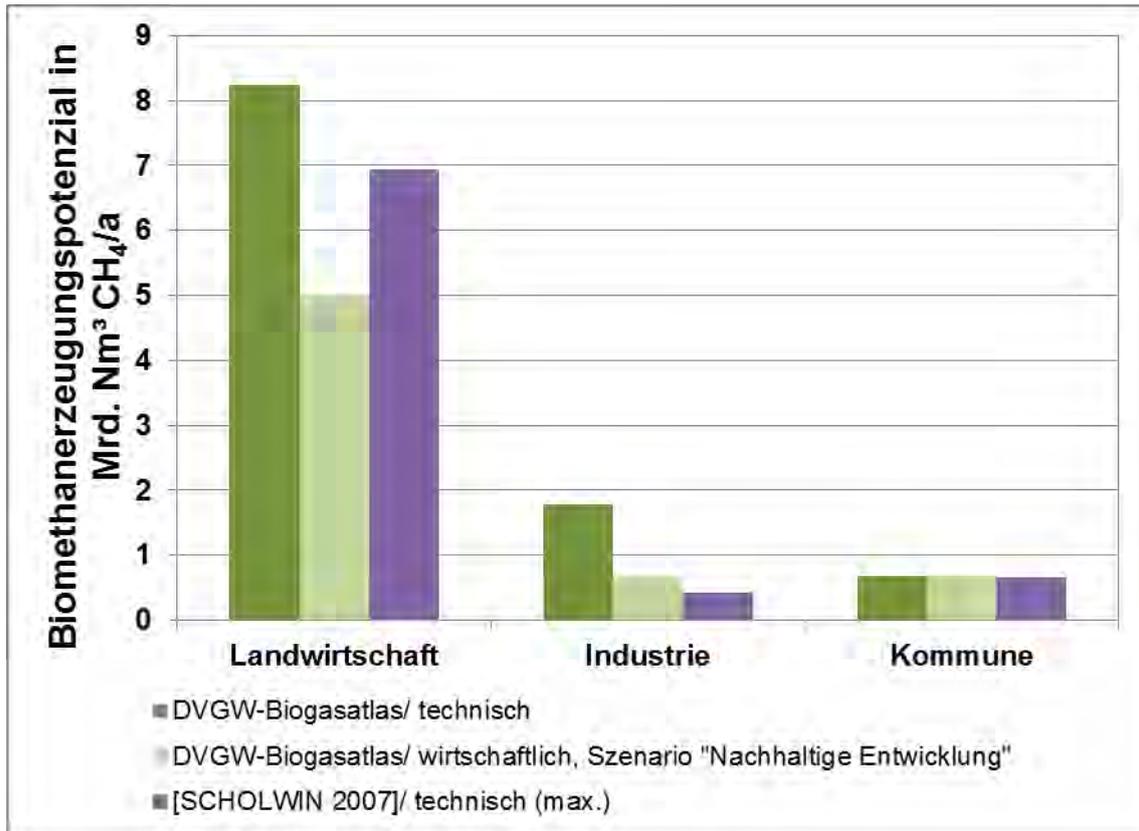


Abbildung 163: Vergleich des Biomethanzeugungspotenzial aus [SCHOLWIN 2007] mit den Ergebnissen des DVGW-Biogasatlas in den Substratgruppen Landwirtschaft, Industrie und Kommune im IST-Stand

Die Gesamtpotenziale werden sowohl deutschlandweit im gesamten als auch getrennt nach dem Potenzial für die beiden Methoden der Trocken- und Nassvergärung aufgeführt und diese folglich verglichen. Die Potenzialerhebung der Trockenvergärung weist ein technisches Potenzial von 214 – 297 PJ/a aus. Dies entspricht einem Methangasäquivalent von 6 -8 Mrd. Nm³ CH₄/ a. Das ausgewiesene Potenzial der Nassvergärung ist geringer (252 PJ/a bzw. 7 Mrd. Nm³ CH₄/ a), da das Strohpotenzial aufgrund des hohen Ligningehaltes und der damit postulierten fehlenden Eignung zur Nassvergärung null beträgt. Auch eine Steigerung des Güllepotenzials gleicht dies nicht aus. Im Vergleich zum DVGW-Biogasatlas (technisches Potenzial 10,7 Mrd. Nm³ CH₄/a) ist dieses technische Potenzial geringer. Ursache hierfür ist einerseits eine unterschiedliche Substratbetrachtung (Substratart, Erfassungsjahr, Gesamtmenge, ...) und andererseits die Begriffsdefinition des technischen Potenzials. In der Studie [SCHOLWIN 2007] fließen neben technischen Abzügen ebenso nicht-technische Beschränkungen ein.

Da das Hauptaugenmerk der Studie auf der Feststoffvergärung liegt, wird im weiteren Verlauf der Studie die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens untersucht. Mit Hilfe der Analysen verschiedenster Substrate für die Nutzung in Verfahren der Nass- und Trockenvergärung wurde festgestellt, dass die Feststoffvergärung eine attraktive Alternative zur Nassfermentation ist. Es können diverse Substrate zum Einsatz kommen, wobei einige auch für die Nassvergärung geeignet sind. Stapelbare Substrate können ohne eine vorherige kosten- und zeitaufwendige Aufberei-

tung direkt vergoren werden. Auch die wirtschaftliche Nutzung der Trockenvergärung wurde anhand von Wirtschaftlichkeitsberechnungen bewiesen. Die Nutzung der bei der Verstromung des Biogases entstehenden Abwärme, eine Optimierung des Verfahrens und Effektivitätssteigerung des Prozesses tragen wesentlich zur wirtschaftlichen Einsetzbarkeit der Trockenvergärung bei. Eine ökologische Betrachtung des Verfahrens ist aufgrund einer unzureichenden Datenlage nur bedingt möglich. Da es nur vereinzelte landwirtschaftliche Feststoffvergärungsanlagen in Deutschland gibt, die des Weiteren keine langjährige Betriebserfahrung haben, sind in dieser Studie endgültige Aussagen zur Umweltverträglichkeit noch nicht machbar gewesen.

11.5 BGW und DVGW beauftragte Studie „Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse“

Die vom BGW (Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, Vorgänger des BDEW) und DVGW beauftragte Studie „Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse“ [DVGW 2005] teilt sich in vier Bände mit folgendem Inhalt:

- Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen
- Band 2: Biomassepotenziale in Deutschland, Nutzungstechniken und ökonomische-ökologische Bewertung ausgewählter Nutzungspfade
- Band 3: Biomassevergasung, Technologien und Kosten der Gasaufbereitung und Potenziale der Biogaseinspeisung in Deutschland
- Band 4: Technologien, Kosten und Restriktionen der Biogaseinspeisung ins Erdgasnetz

Das ausgewiesene Gesamtpotenzial für Deutschland beträgt 72,2 Mrd. kWh/a (7,3 Mrd. Nm³ CH₄/a) und liegt demnach über dem wirtschaftlichen Potenzial dieser Studie. In [DVGW 2005] wird ausschließlich ein technisches Potenzial betrachtet. Dieses Potenzial stellt einen Anteil der maximal zur Verfügung stehenden Energiemenge (theoretisches Potenzial) dar. Das technische Potenzial berücksichtigt neben technischen auch strukturelle und ökologische Restriktionen. Die betrachteten Substrate sind in [DVGW 2005] nur grob gegliedert, sodass ein substratspezifischer Vergleich nicht möglich ist. Ein Potenzialvergleich in den Substratgruppen zeigt, dass größere Abweichungen in der Landwirtschaft und Industrie zu verzeichnen sind. In [DVGW 2005] wird das Strohpotenzial als nicht relevant für die Biogaserzeugung angesehen. Demzufolge ist der Unterschied zwischen den technischen Potenzialen um ca. 2 Mrd. Nm³ CH₄/a zu erklären. Im Industriebereich wird im DVGW-Biogasatlas eine größere Anzahl an Substraten (Kartoffelverarbeitung, Bioethanol-/ Biodieselproduktion, Rapspresskuchen) betrachtet. Das somit zusätzliche Potenzial beträgt ca. 1 Mrd. Nm³ CH₄/a und erklärt die Differenz.

Des Weiteren werden Aussagen über wirtschaftliche Transportentfernungen gemacht. Demnach sollte Gülle möglichst nicht, aber höchstens 5-10 km transportiert

werden (DVGW-Biogasatlas: 2 km). Für Mais mit einer höheren Energiedichte beträgt der maximale Transportradius 15-20 km (DVGW-Biogasatlas: 15 km).

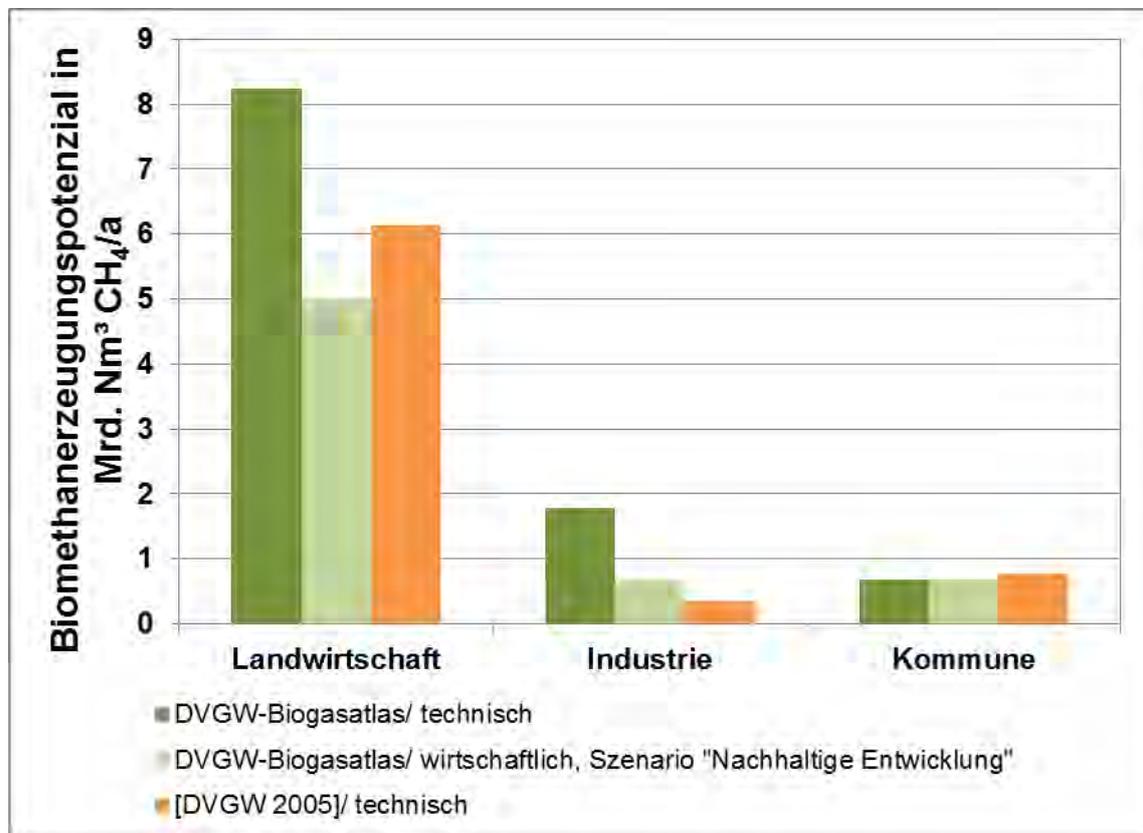


Abbildung 164: Vergleich des Biomethanerzeugungspotenzial aus [DVGW 2005] mit den Ergebnissen des DVGW-Biogasatlas in den Substratgruppen Landwirtschaft, Industrie und Kommune im IST-Stand

Übereinstimmend mit den Ergebnissen des DVGW-Biogasatlas stellt der Landwirtschaftsbereich den größten Potenzialanteil. Hierbei hat Mais neben tierischen Exkrementen einen großen Einfluss.

Tabelle 68 stellt die unterschiedlichen Maispotenziale vergleichend zusammen. Hierbei wird deutlich, dass das ausgewiesene technische Potenzial nur eine geringe Aussagekraft besitzt, da die derzeitigen Rahmenbedingungen (business as usual) sowie eine Verstärkung der Nachhaltigkeitsfaktoren (Nachhaltige Entwicklung) das Potenzial weiter verringern.

Tabelle 68: Biomethanerzeugungspotenziale von Mais im Vergleich

Potenzial in Mrd. Nm ³ CH ₄ /a	DVGW-Biogasatlas	[DVGW 2005]
Theoretisch	3,1	-
Technisch	2,7	2,4
Wirtschaftlich: Szenario „business as usual“	2,0	-
Wirtschaftlich: Szenario „Nachhaltige Entwicklung“	1,5	-

Für die zukünftige Entwicklung wird sowohl in [DVGW 2005] als auch im DVGW-Biogasatlas die Nutzung von NawaRo in Form von Mais als treibender Faktor angesehen. Abbildung 165 zeigt die innerhalb dieser Studie aufgestellte Prognose in den zwei Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ im Vergleich zu [DVGW 2005] dar. Es wird deutlich, dass die Prognose in [DVGW 2005] annähernd dem Szenario „business as usual“ entspricht. Des Weiteren kann die Prognose aus dem Jahr 2005 mit den aktuellen Potenzialen verglichen werden. Bei Interpolation der Potenziale aus [DVGW 2005] für die Jahre 2005 und 2020, ist zu erkennen, dass für das Jahr 2010 das prognostizierte Potenzial nicht erreicht wurde.

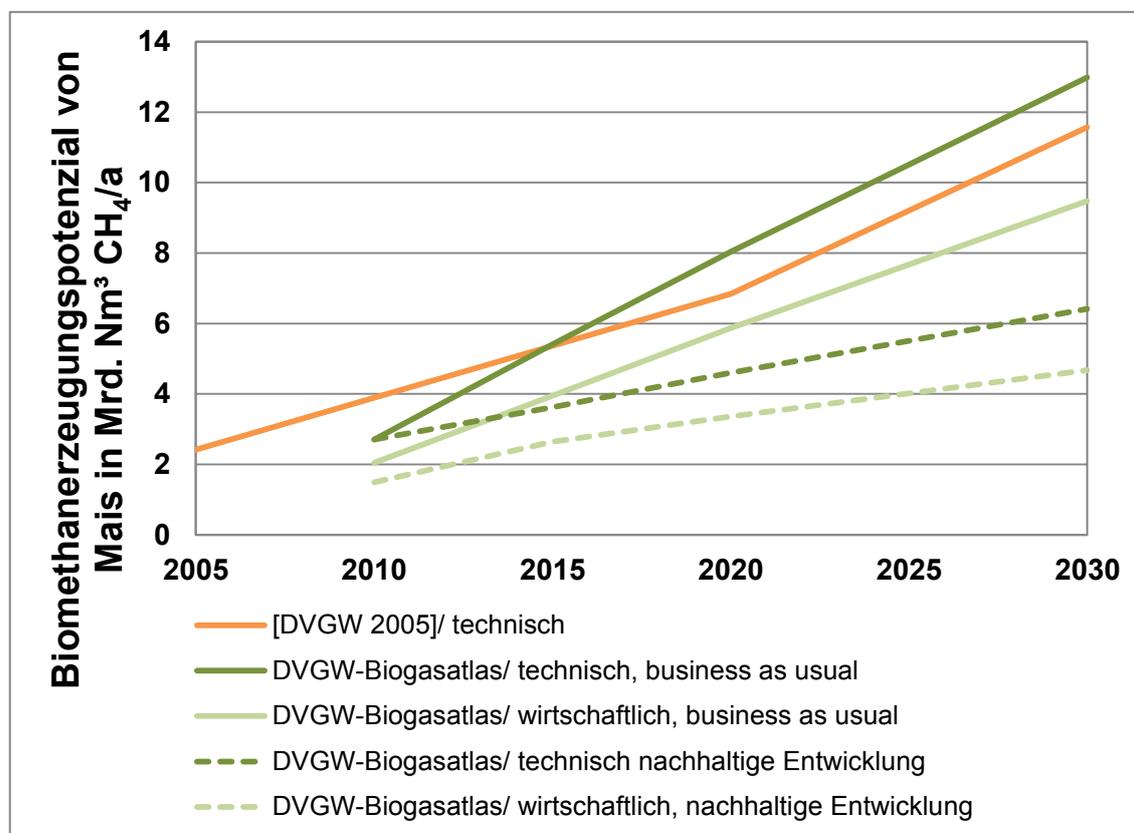


Abbildung 165: Prognose des Biomethanerzeugungspotenzials aus Mais im Vergleich

Der Abgleich des Biomethanherzeugungspotenzials mit dem Einspeisepotenzial von Biomethan in das öffentlich Erdgasnetz erfolgt anhand von Biomassetransportrestriktionen, welche substratspezifisch den Potenzialanteil für die Einspeisung festlegen. Im Ergebnis wird ein Einspeisepotenzial von ca. 5,3 Mrd. Nm³ CH₄/a ausgewiesen. In [DVGW 2005] werden Biogasproduktionsmengen von Ende 2003 herangezogen, welche ca. 783 Mio. Nm³ CH₄/a betragen. Die Summe aus Produktionsmenge von 2003 und Einspeisepotenzial liegt unterhalb des Gesamtpotenzials, weshalb geschlussfolgert werden kann, dass ein weiterer Bau von Biogaserzeugungs- und ggf. auch von Biomethaneinspeiseanlagen wahrscheinlich ist. Damals wie auch heute dominiert die Biogasnutzung in Form der Vor-Ort-Verstromung. Das in [DVGW 2005] ausgewiesene Einspeisepotenzial wurde bislang nur in einem geringen Maß genutzt.

12 Forschungsbedarf

Aus den Untersuchungen zur vorgelegten Studie lassen sich Forschungsbedarfe auf verschiedenen Gebieten ableiten. Im Folgenden seien diese Bedarfe strukturiert zusammengefasst. Dabei wird auch auf Forschungsgebiete eingegangen, die in der Studie nicht direkt untersucht wurden, die aber einen Einfluss auf die Nutzungskette Biogas und damit das Biogaserzeugungspotenzial haben.

1. Biogaserzeugung

Die nicht unbegrenzt verfügbare Fläche auf der Biomasse und insbesondere Energiepflanzen angebaut werden können, erfordert einen ressourcenschonenden Umgang. Dabei spielt nicht allein der Anbau der Pflanzen eine Rolle, sondern auch die Fläche, auf der die Gärprodukte ausgebracht werden müssen. D.h. mit steigender Effizienz der Biogasproduktion wird mehr Biogas je Anbaufläche erzeugt und weniger Gärprodukt muss zurückgeführt werden und belastet den Boden. Darüber hinaus müssen bei belasteten Böden Methoden entwickelt werden, mit denen Gärprodukte in ihrer Düngewirkung mindestens teilweise neutralisiert werden können. Diese Option ist allein bei der Biogasproduktion möglich und kann nachhaltig zu einer Verbesserung der Ressourcen Boden und Wasser führen. Die Schwerpunkte der weiteren Forschung sollten sich deshalb konzentrieren auf:

- Optimierung der Substratgewinnung und Senkung von Verlusten, Einbeziehung neuer Substrate zur Vermeidung von Monokulturen.
- Effizienzverbesserung und Leistungssteigerung der fermentativen Biogasproduktion – Repowering
- Entwicklung von Methoden zur Veredlung von Gärprodukten, insbesondere für Gebiete mit N- und P-Überschuss
- Entwicklung von Monitoringprogrammen im Umkreis ausgewählter Biogasanlagen (mit unterschiedlich eingesetzten Substraten, Alter der Anlage und Verwendung der Gärprodukte) zur Untersuchung ausgewählter Parameter, wie Nährstoffgehalte, Schadstoffgehalte etc. in Gärprodukten, im Boden, im Grundwasser und zur Untersuchung von Herkunft sowie Verteilung und Transport der Substanzen im Boden.

2. Entwicklung von Tools zur Bewertung von Standorten/ Bewirtschaftungsflächen/ Schutzflächen

Wie mit dieser Studie gezeigt, lassen sich mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS) eine Vielzahl von Bodendaten in übersichtlicher Weise darstellen und standortbezogen auswerten. Für die langfristigen Planungen lassen sich somit Erkenntnisse gewinnen und die Ergebnisse von Maßnahmen nachverfolgen. Diese GIS-Tools mit einem einheitlichen Kriterienkatalog können als Grundlage für eine transparente Planungs- und Genehmigungspraxis genutzt werden. Die weiteren Forschungsschwerpunkte sind:

- Entwicklung eines bundeseinheitlichen Kriterienkataloges für die Bewertung von Anbauflächen hinsichtlich Bodenbelastung, Anbauoptionen,

Düngeempfehlungen, Grundwasser- und Oberflächenwasserbelastung, Maßnahmen für Bodenverbesserung

- Entwicklung von GIS-Tools für die bundesweite mindestens aber für die regionale Datenerfassung und Auswertung nach dem vorgenannten Kriterienkatalog. Entwicklung von Monitoringprogrammen (Boden- und Wasserqualität) zur Pflege der Datenbasis. Implementierung des Tools in die tägliche Praxis von Bau-, Landwirtschafts-, Umwelt- und Wasserbehörden. Entwicklung einer Informationsplattform für diese Behörden zum Erfahrungsaustausch. Entwicklung von Plattformen für die zielgruppenorientierte Bereitstellung der Informationen.

3. Weiterentwicklung von Nutzungsoptionen für Biogas

Für die Einführung der Biogaserzeugung wurden Fördermaßnahmen und Unterstützungsoptionen für die frühen Märkte implementiert (vorrangig Stromerzeugung aus Biogas). Die Markteinführung war ohne Frage erfolgreich und trägt einen hohen Anteil an der Erzeugung erneuerbarer Energie bei. Diese Entwicklung sollte fortgeführt werden indem neue und effizientere Nutzungsoptionen wie z.B. die Einspeisung von Biomethan oder die Kombination mit anderen Nutzungsstrategien mehr in den Fokus gerückt werden. Dazu sind diese neuen Strategien durch Forschungs- und Demonstrationsprojekte mit folgenden Schwerpunkten zu untersetzen:

- Entwicklung von Nutzungskonzepten durch den Zusammenschluss mehrerer kleinerer Biogasanlagen zu einem Biogasnetz mit den Optionen
 - der direkten sicheren Versorgung von BHKW(s) in kleinen Kommunen
 - der zentralen Aufbereitung des Biogases und Einspeisung in das Erdgasnetz
- Entwicklung von Betriebskonzepten von Biogassammelleitungssystemen, hinsichtlich Sicherheit, Versorgungssicherheit, Brennwertstabilisierung, Abrechnung und Flexibilisierung der Bereitstellung.
- Nutzung von Biogasanlagen als Kohlenstoffquelle (CO₂) für eine Methanisierung von Wasserstoff aus P2G-Anlagen. Dies betrifft die Standortermittlung sowie die Konzept- und Anlagenentwicklung – biologische Methanisierung.

13 Zusammenfassung und Ausblick

Ziele der Studie

Mit Stand vom 31.03.2013 waren in Deutschland 120 Biogaseinspeiseanlagen in Betrieb, die eine installierte Produktionskapazität von ca. 71.900 Nm³/h Biomethan (ca. 715 MWh/h) aufweisen, was ca. 0,64 % des aktuellen deutschen Erdgasverbrauches decken würde. Weitere ca. 50 Anlagen sind in Planung oder Bau [BGPARTNER 2013]. Um die klimapolitischen Ziele zu erreichen sieht die Gasnetzzugangsverordnung vor, dass im Jahr 2030 der Biomethananteil am Erdgasabsatz 10 % betragen soll [GasNZV 2010]. Durch die Kombination von Gastechnik mit erneuerbarem Gas bietet sich eine effiziente Möglichkeit, um sowohl CO₂-Emissionen als auch die CO₂-Vermeidungskosten aus volkswirtschaftlicher Sicht zu reduzieren [DVGW 2011b]. Die Biogaseinspeisung in das Gasnetz ist daher ein wichtiges Element der Energiewende.

Um zu prüfen, ob diese Ziele nachhaltig zu erreichen sind sowie um Landwirten, Energie- und Wasserversorgern eine strategische Planung zu ermöglichen und Informationen für bzw. über zukünftige Biogaseinspeiseprojekte zu liefern, bedarf es einer regionenspezifischen Analyse der Ist-Situation und einer Abschätzung der Auswirkungen bei weiterem Ausbau. Das DVGW-Projekt „Potenzialstudie zur nachhaltigen Erzeugung und Einspeisung gasförmiger, regenerativer Energieträger in Deutschland“ erweitert zum Erreichen des oben beschriebenen Ziels erstmalig die Betrachtung um den Gewässerschutz und die nachhaltige Bewirtschaftung des landwirtschaftlich genutzten Bodens. In einem weiteren Schritt erfolgte in dieser Studie eine Kopplung der Biogaserzeugungspotenziale mit den Gasinfrastrukturdaten. Untersucht wurden dabei nur Potenziale für Biogasanlagen, bei denen die Gärprodukte als Dünger wieder auf die Felder gebracht werden können. Andere Gärproduktnutzungen sind nicht betrachtet. Sie spielen in der gegenwärtigen Praxis auch nur eine untergeordnete Rolle und sind auch in der Zukunft volkswirtschaftlich von geringer Bedeutung.

Die Studie hat als Fokus die Biogaserzeugung. Hierbei wurden die Nährstoffeinträge im Zusammenhang mit der Biogaserzeugung näher beleuchtet. Das betrifft insbesondere die Düngung mit mineralischen Düngern aber auch Wirtschaftsdünger wie Mist, Gülle und Gärprodukte aus Biogasanlagen. Einen besonderen Schwerpunkt setzt die Studie auf Regionen mit einer intensiven Viehhaltung. Neben der Gülle werden auch pflanzliche Substrate eingesetzt, was zu einer starken Zunahme des Maisanbaus und einem erhöhten Anfall an Wirtschaftsdünger geführt hat. Bereits durch Futterimporte für die Viehhaltung ergibt sich ein Nährstoffüberschuss in diesen Regionen. Grundsätzlich gelten deshalb die gewonnenen Aussagen zur nachhaltigen Bewirtschaftung auch für die herkömmliche Landwirtschaft. Es ist somit festzuhalten, dass eine Erhöhung der Bodenbelastung nicht allein der Biogaserzeugung zuzuordnen ist.

Im Ergebnis liefert die Studie Rahmenbedingungen für zukünftige nachhaltige Biogaseinspeiseprojekte. Durch die Studienresultate ist es einerseits möglich, zukünftige Schwerpunktgebiete für den Anbau von Energiepflanzen und die Biogaseinspeisung zu lokalisieren, Probleme bei der Gärproduktausbringung zu identifizieren sowie andererseits schon heute notwendige Gasinfrastrukturanpassungen langfristig zu planen. In diese Betrachtung wurden dabei die Sicherung der Roh-

wasserqualität durch gewässerschützenden Energiepflanzenanbau und nachhaltiges, pflanzenbedarfsgerechtes Düngen mit Gärprodukten einbezogen. Den Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft ergibt sich hierdurch eine Handlungshilfe, durch welche die Nachhaltigkeitsaspekte bei der Entwicklung zukünftiger Biogas- und Biomethanausbaupfade berücksichtigt werden können. Die unterstellten Nachhaltigkeitsszenarien gehen über die bestehenden gesetzlichen Nachhaltigkeitsanforderungen (z.B. der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung [Biokraft-NachV 2009]) hinaus und erweitern die Bewertung um Nährstoffsalden, Fruchtfolgen und Düngereinsparungen für wasserwirtschaftlich sensible Gebiete.

Ermittlung des aktuellen Biogaserzeugungspotenzials

Die Ermittlung des Biogaserzeugungspotenzials basiert auf insgesamt 20 potenziell bedeutenden Substraten aus den Bereichen Landwirtschaft, Kommune und Industrie. Besonders Substrate der beiden letztgenannten Bereiche werden momentan wenig oder gar nicht für die Biogaserzeugung genutzt. Im Bereich der Landwirtschaft steht neben der Betrachtung von Ernterestmengen der nachhaltige Anbau von Energiepflanzen, wie Mais, im Mittelpunkt. Besondere Beachtung in der Untersuchung fanden dabei;

- aus wasserwirtschaftlicher Sicht
Wasserschutzgebiete (Schutzzonen I, II und III von Trinkwasserschutzgebieten), Wassergewinnungsgebiete, Überschwemmungsgebiete, gefährdete Grundwasserkörper und Gewässerrandstreifen sowie Gebiete mit bereits hoher Nitratbelastung des Grundwassers (z.B. gefährdete Grundwasserkörper nach EG-Wasserrahmenrichtlinie);
- aus Naturschutzsicht
Naturschutzgebiete, Biosphärenreservate, FFH-Gebiete sowie ggf. Landschaftsschutzgebiete u. ä. Einschränkungen;
- konkurrierende Verwertungspfade, wie die Futter- und Nahrungsmittelbereitstellung, um der Diskussion „Tank-Teller“ Rechnung zu tragen.

Im Hinblick auf die Fülle an Einflussfaktoren auf das Biogaserzeugungspotenzial erfolgt eine Ermittlung verschiedener Potenzialarten (Abbildung 166). Diese beginnt mit der Erfassung des deutschlandweit vorliegenden Gesamtpotenzials je Substrat, womit eine theoretische Obergrenze ermittelt wird. Dabei liegt eine hohe Regionalisierung vor, da das Substrataufkommen standortgenau erfasst ist. Auf diese Weise können sowohl Aussagen über Gesamtdeutschland aber auch für einzelne Regionen getroffen werden. Unter Berücksichtigung verschiedener restriktiver Faktoren erfolgte die Berechnung des technisch umsetzbaren bzw. des nachhaltigen Potenzials. Die Berücksichtigung der Substratpreise, Transportkosten sowie der EEG-Vergütung bestimmt das wirtschaftliche Potenzial, welches für weitere Analysen von Bedeutung ist.

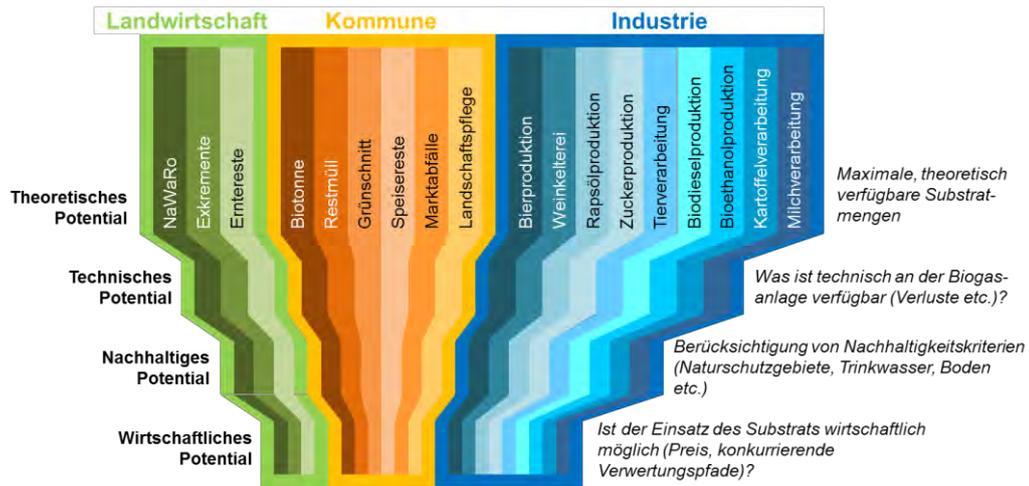


Abbildung 166: Einsatzsubstrate und Potenziale

In der Praxis ist die aktuelle Erzeugung und Nutzung von Energiemais in Teilen Nordwest- und Süddeutschlands unter Berücksichtigung des Bodens und Trinkwassers kritisch zu bewerten. Die Ursache hierfür liegt in der Bewirtschaftung der traditionellen Viehhaltungsstandorte begründet, welche auch ohne Biogaserzeugung seit Jahrzehnten hohe Maisanbauflächen sowie kritische Boden- und Grundwasserwerte aufweisen. Anderorts in Deutschland sind jedoch noch Potenziale vorhanden, welche aktuell nicht, jedoch zukünftig, genutzt werden können (insb. in Ostdeutschland).

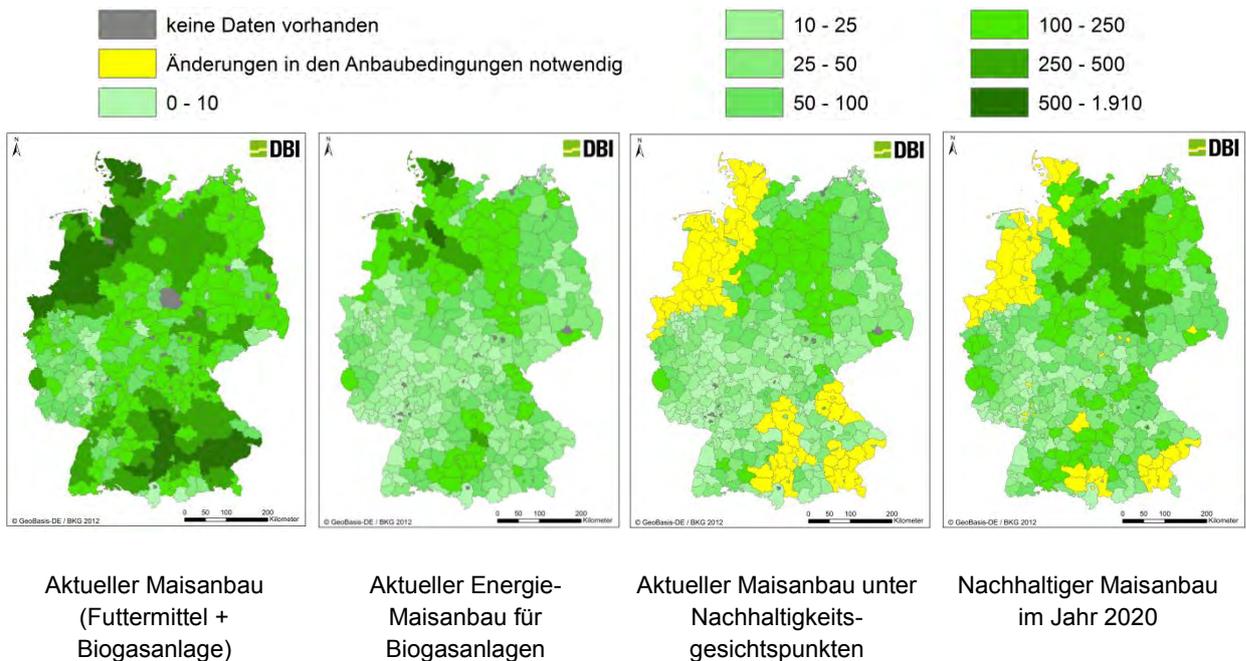


Abbildung 167: Maisanbau auf Landkreisebene in Nm³ CH₄/ha

Bei einer Verlagerung des Maisbaus und der Gärproduktausbringung in andere Regionen, ohne entsprechende Boden- und Grundwasserbelastungen sowie einer

nachhaltigen Biogaserzeugung der in dieser Studie als kritisch eingestuftes Regionen, kann jedoch dieser Schiefelage begegnet werden und bei Berücksichtigung der zugrunde gelegten Nachhaltigkeitskriterien die gleiche bzw. eine sogar noch größere Menge Biogas erzeugt werden (s. Abbildung 167).

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten – Boden-, Trinkwasser- und Naturschutz – ist somit festzuhalten, dass in Deutschland eine Erweiterung der Anbauflächen für die Biogasproduktion möglich ist. Für Mais hat jedoch eine regionale Verschiebung sowohl der Anbau- als auch der Gärrestausbringflächen zu erfolgen.

Neben einer Einzelbetrachtung des viel diskutierten Mais, erfolgte im Forschungsprojekt auch eine Analyse möglicher weiterer NawaRo-Einsatzstoffe und eine damit verbundene optimale Fruchtfolgekombination. Die Betrachtung zeigte, dass durch diesen optimierten Anbau deutlich mehr Flächen für eine Energiepflanzenproduktion zur Verfügung stehen.

In Deutschland lassen sich aktuell theoretisch ca. 18,5 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr (184 TWh pro Jahr) erzeugen. Unter Berücksichtigung von technischen Rahmenbedingungen (Transport, Lagerung, Verluste etc.) reduziert sich diese auf ca. 10,7 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr bzw. 106 TWh pro Jahr. Werden zusätzlich Nachhaltigkeitskriterien sowie Wirtschaftlichkeitsfaktoren hinzugezogen, so ergeben sich 6,9 Mrd. Nm³ pro Jahr nachhaltig erzeugbares Biomethan (68 TWh pro Jahr) bzw. 6,4 Mrd. Nm³ wirtschaftlich-nachhaltig erzeugbares Biomethan pro Jahr (63 TWh pro Jahr). Die deutschlandweite Verteilung dieser aktuellen Biogaspotenziale ist in nachfolgender Übersicht dargestellt.

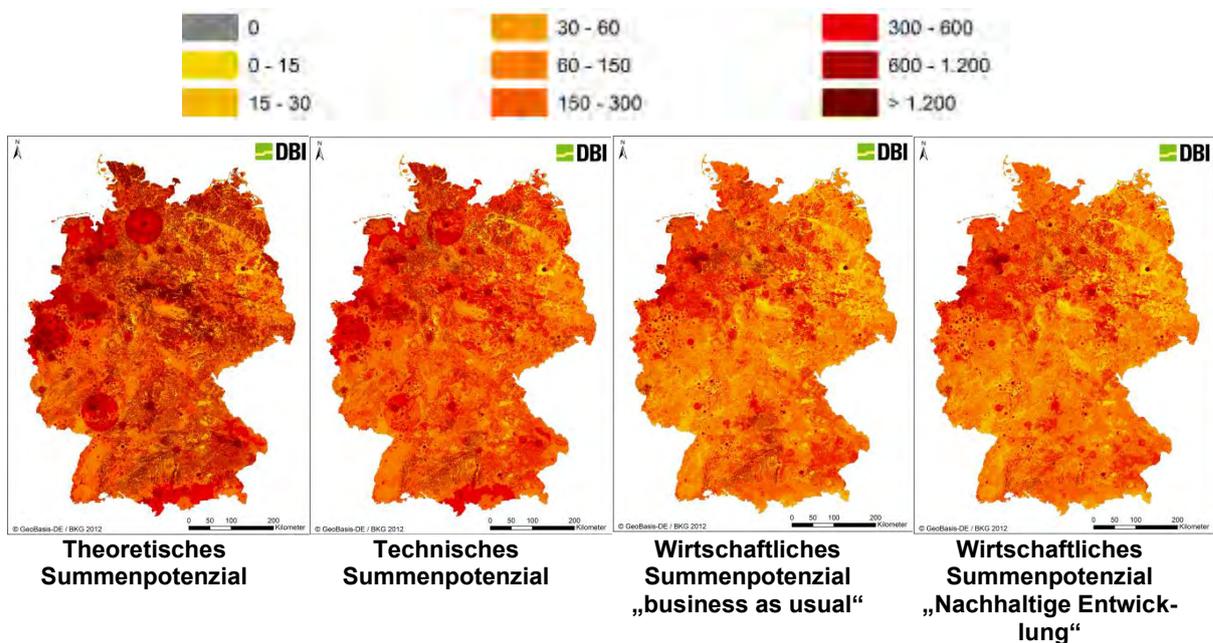


Abbildung 168: aktuelles theoretisches, technisches und wirtschaftliches Summenpotenzial der Szenarien „business as usual“ und „Nachhaltige Entwicklung“ aller betrachteten Einsatzstoffe in Nm³/ha Biomethan

Derzeit werden in Deutschland etwa 11,8 Mrd. Nm³ Rohbiogas im Jahr erzeugt [FNR 2012a]. Würde diese Menge komplett zu Biomethan aufbereitet, entspräche

dies ca. 6,2 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr/ 62 TWh pro Jahr. Ein Großteil dieser erzeugten Biogasmenge wird Vorort verstromt und „nur“ ca. 8 % ins Erdgasnetz (ca. 0,5 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr, 5 TWh pro Jahr) eingespeist [BGPARTNER 2013].

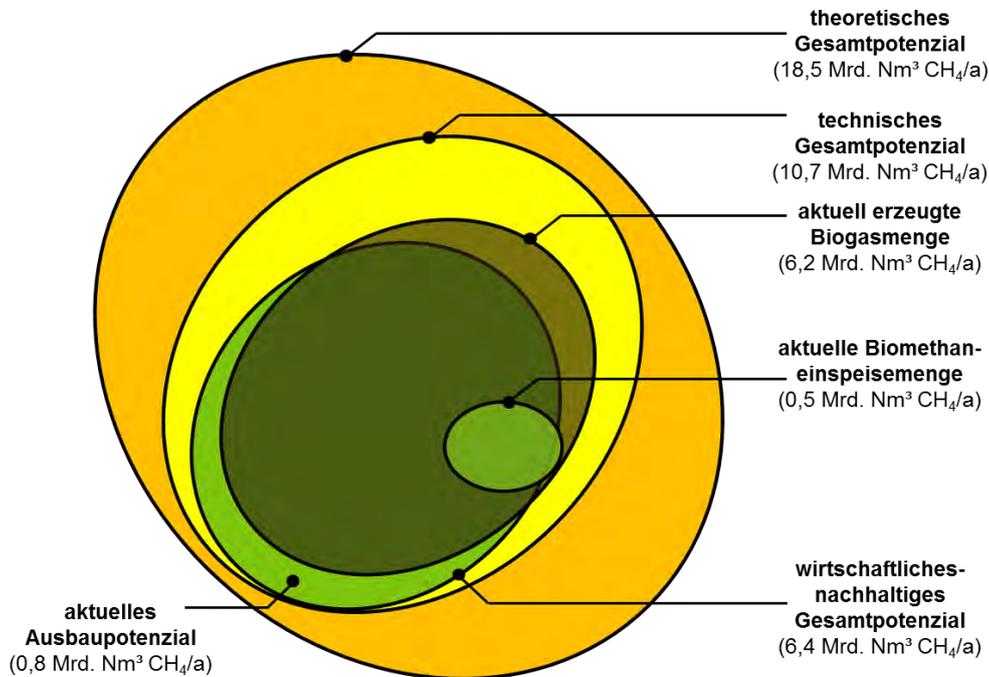
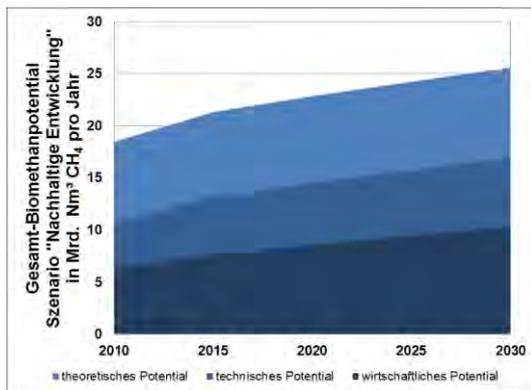


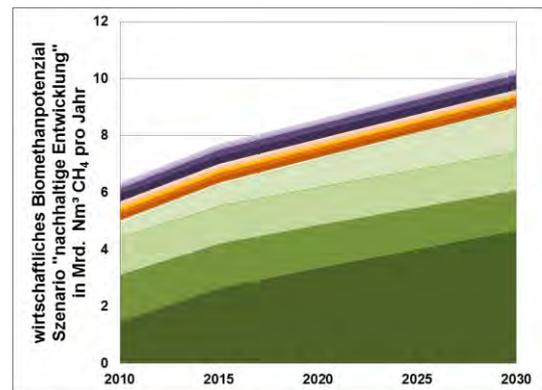
Abbildung 169: Schematische Darstellung der aktuellen Biogaserzeugung und den Biomethanpotenzialmengen

Prognose des Biogaserzeugungspotenzials bis zum Jahr 2030

Um Aussagen über eine eventuelle zukünftige Entwicklung treffen zu können, erfolgt neben der Darstellung des aktuellen Biogaserzeugungspotenzials auch eine substratspezifische Prognose für die Jahre 2015, 2020 und 2030. Dabei werden neben der Entwicklung des Substrataufkommens auch Einflüsse wie die Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt. Die Prognose zeigt, dass das wirtschaftliche und nachhaltige Gesamtpotenzial von aktuell 6,4 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr (63 TWh pro Jahr) stetig zunimmt und im Jahr 2030 einen Wert von ca. 10,3 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr (103 TWh pro Jahr) erreichen kann. Der landwirtschaftliche Bereich nimmt dabei an Bedeutung zu. Es zeigt sich sowohl heute, aber insbesondere in der Zukunft, dass die Wirtschaftlichkeit, besonders bei den industriellen Substraten, eine entscheidende Rolle spielt. Die Steigerung des landwirtschaftlichen Potenzials ist regional sehr unterschiedlich. In einigen wenigen Regionen Deutschlands ist unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitskriterien ein weiterer Anbau von Energiepflanzen kritisch zu sehen – insbesondere im Nordwesten Deutschlands. Die Ursachen hierfür liegen jedoch zumeist nicht in der Biogasproduktion sondern in anderen Faktoren begründet, z.B. sehr intensive Viehhaltung. Nichtsdestotrotz ist unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten eine Erhöhung der Biogasproduktion um ca. 60 % bis zum Jahr 2030 möglich, von aktuell 6,4 auf 10,3 Mrd. Nm³ Methan pro Jahr.



Entwicklung des **theoretischen, technischen und nachhaltig/wirtschaftlichen Biomethanpotenzials** in den kommenden Jahren im Szenario „Nachhaltige Entwicklung“



Entwicklung des **wirtschaftlich-nachhaltigen Biomethanpotenzials** für landwirtschaftliche (grüne Farbtöne), industrielle (orange Farbtöne) und kommunale (violette Farbtöne) Reststoffe in den kommenden Jahren im Szenario „Nachhaltige Entwicklung“

Abbildung 170: Entwicklung der analysierten Biogaspotenziale

Ein Vergleich der aktuellen Biogasproduktion mit den Ausbaumöglichkeiten im Jahr 2030 ist dabei in Abbildung 171 visualisiert.

Deutschlandweit bleibt somit festzuhalten, dass auch unter Berücksichtigung von verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekten des Boden-, Gewässer- und Naturschutzes ein weiterer Ausbau der Biogasnutzung möglich ist. Es hat jedoch eine regional Steuerung für einen weiteren Ausbau zu erfolgen. Hierdurch lassen sich einerseits weitere Biogaspotenziale heben und andererseits die aktuellen Konfliktpunkte insbesondere beim Anbau von Energiepflanzen lösen.

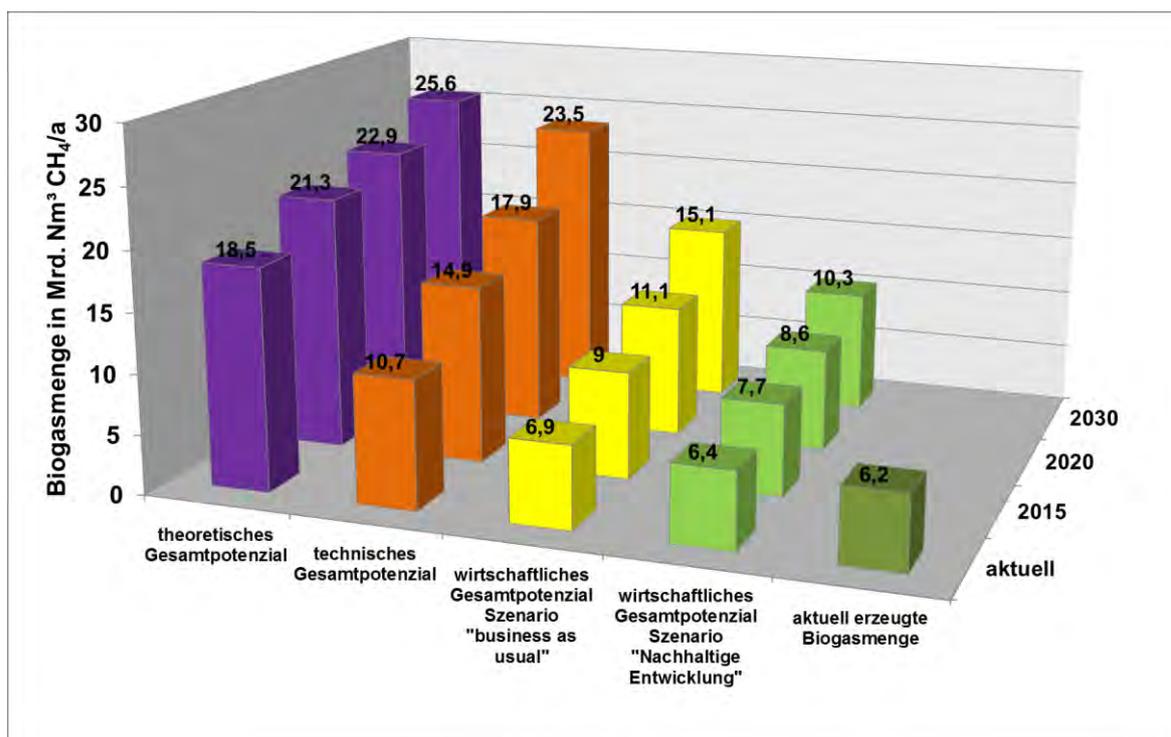


Abbildung 171: Aktuell erzeugte Biogasmenge im Vergleich zu den Ausbaupotenzialen bis zum Jahr 2030

Vor dem Hintergrund der ermittelten Potenziale sind die Ziele der Gasnetzzugangsverordnung zu hinterfragen. Sollen bis zum Jahr 2020 tatsächlich 6 Milliarden Kubikmeter Biomethan (60 TWh) jährlich eingespeist werden, so ist dies unter den genannten Nachhaltigkeitskriterien nur möglich, wenn ca. 70 % des dann nachhaltig erzeugbaren Biogases ins Erdgasnetz eingespeist und nicht vor Ort verstromt wird. Ein Großteil der bestehenden Biogasanlagen müsste dabei auf Biomethaneinspeisung umgestellt werden. Um das Ziel der Gasnetzzugangsverordnung von 10 Milliarden Kubikmetern Biomethan (100 TWh) jährlich für das Jahr 2030 zu erreichen, müsste ca. 97 % des dann nachhaltig erzeugbaren Biogases ins Erdgasnetz eingespeist werden (s. Abbildung 172).

Da die meisten Biogasanlagen nur geringe Biogasproduktionsmengen aufweisen (< 200 Nm³/h Biomethan), ist unter den aktuellen Marktbedingungen und dem regulatorischen Rahmen eine Biomethaneinspeisung für diese Anlagen aus wirtschaftlicher Sicht unwahrscheinlich. Vor dem Hintergrund, dass aktuell nur ca. 0,5 Mrd. Nm³ Biomethan pro Jahr eingespeist werden, erscheint deshalb eine Steigerung der Einspeisemenge um das 12fache bis zum Jahr 2020 bzw. um das 20fache bis 2030 als derzeit kaum realisierbar. Grundsätzlich wäre dazu eine deutliche Überarbeitung der politischen Steuerungsmaßnahmen notwendig.

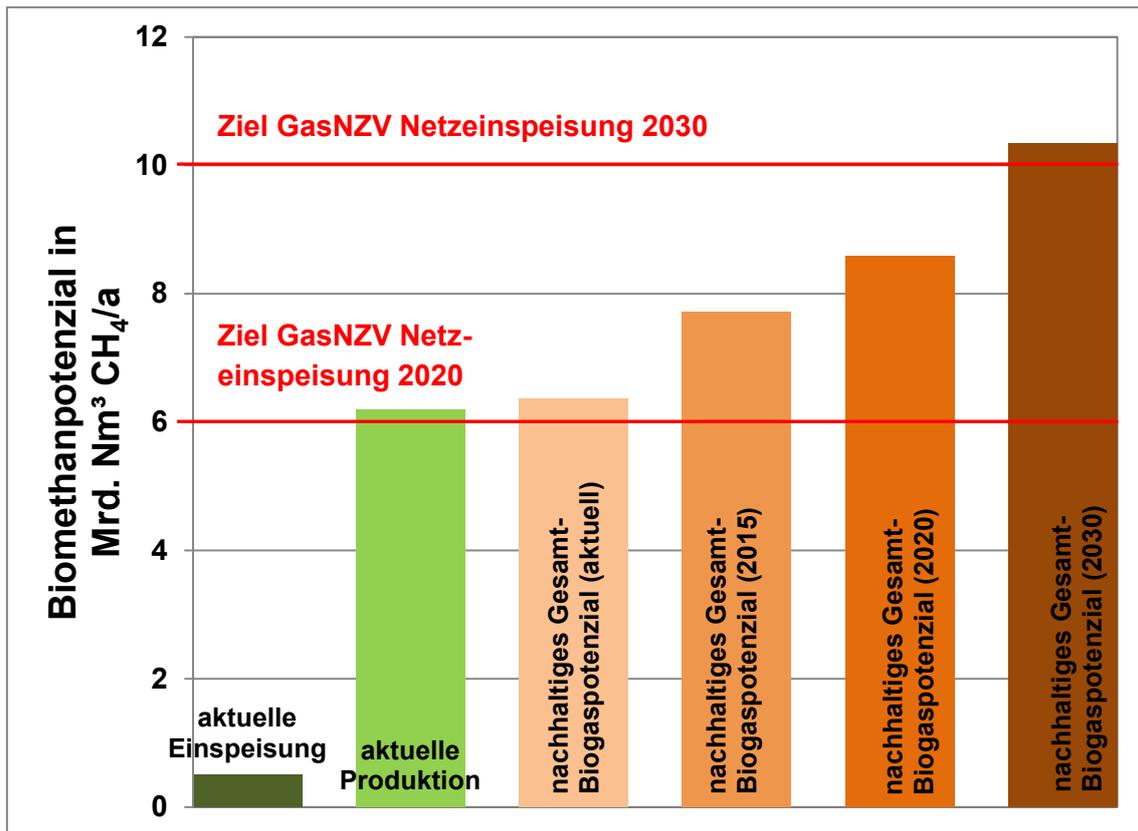


Abbildung 172: Biomethanerzeugungspotenzial Szenario „Nachhaltige Entwicklung“ im Vergleich zu den klimapolitischen Zielen

Anforderungen an den Gewässerschutz und eine nachhaltige Biogasbereitstellung

Negative Einflüsse auf die Wasser- und Bodenqualität können insbesondere in Regionen mit intensiver Viehhaltung und hohem Düngeraufkommen (mineralische und Wirtschaftsdünger) gegeben sein. Bei Gärprodukten, die aus der Fermentation von Abfällen entstanden sind, können darüber hinaus Schadstoffe (Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, Weichmacher, Arzneimittelwirkstoffe, etc.) enthalten sein und mikrobiologische Belastungen vorliegen. Daher sind alle Anstrengungen zu unternehmen, um Schadstoffeinträge in Gewässer möglichst zu verhindern oder zu minimieren.

Derzeit besteht ein Interessenskonflikt zwischen den Anforderungen

- der Landwirtschaft - günstige, ertragreiche Produkte herzustellen,
- der Wasserwirtschaft - die Ressourcen für die Trinkwassergewinnung zu schützen und
- dem Klimaschutz - die erneuerbaren Energien zur Reduktion von CO₂-Emissionen zu fördern.

Diesem kann dadurch begegnet werden, dass für den Pflanzenanbau und die Gärproduktausbringung insbesondere in Gebieten mit existierendem Nährstoffüberschuss und erhöhten Nitratkonzentrationen im Grundwasser verschiedene Vorgaben gemacht werden. So kann ein Ausbau der Biogaserzeugung insbeson-

dere in Regionen erfolgen, die bisher keine starke Belastung aufweisen. In bereits belasteten Regionen mit gefährdeten Grundwasserkörpern kann der Mineraldünger zukünftig sachgerecht durch Gärprodukte substituiert werden. Für eine derartige Substitution wären ein umfassendes Gärproduktmanagement sowie eine Änderung der Düngepraxis ggf. mit der Anschaffung entsprechender Ausbringungstechnik erforderlich. Weitere Optionen sind Einschränkungen der Düngungshöhe oder des N-Exports durch eine Gärproduktaufbereitung. Bei teilweisem Ersatz des mineralischen Düngers durch Gärprodukte könnten zudem diejenigen Klimagase, die bei der Produktion des Mineraldüngers entstehen, und Kosten eingespart werden.

Darüber hinaus muss es jedoch ein weiteres Ziel sein, dass auch außerhalb der wasserwirtschaftlichen Schutzgebiete und der gefährdeten Grundwasserkörper sowohl Landwirte als auch Biogasanlagenbetreiber für einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau sensibilisiert werden. Dazu wurden Handlungsempfehlungen für den Pflanzenanbau, die Düngepraxis und das Gärproduktmanagement formuliert.

Gasnetz

Grundsätzlich verfügt das Gasnetz über ein hohes Potenzial, große Mengen Biogas aufzunehmen, zu verteilen und in den angeschlossenen Untergrundspeichern (UGS) zu speichern. Im Rahmen dieses Projekts wurde dabei ein Ansatz auf Basis der Gasstatistik des BDEW sowie mittels Jahresganglinien und Standardlastprofilen zur Ermittlung der ganzjährig verfügbaren Kapazität zur kontinuierlichen Biogaseinspeisung und deren regionaler Verteilung entwickelt. Die ganzjährig verfügbare Kapazität ist weniger von der physikalischen Kapazität des Gasnetzes abhängig. Vielmehr ist der Gasverbrauch in einem Netz entscheidend dafür, wie viel Biogas kontinuierlich ins Ortsverteilstnetz eingespeist werden kann, ohne dass Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung, wie z.B. die Rückspeisung in vorgelagerte Netze, notwendig werden. Berücksichtigt wurden dabei die Gasverbräuche von Haushalten und Fernwärmeversorgung, Gewerbe, Handel, Dienstleistung sowie Industrie. Die Auswertung hat ergeben, dass, bezogen auf ganz Deutschland, ca. 3 Mio. Nm³/h Biogas ganzjährig und kontinuierlich in das Gasnetz eingespeist werden können. Dies entspricht einer jährlichen Kapazität von ca. 25 Mrd. Nm³ Biogas pro Jahr. Damit stellt das Gasnetz bilanziell keinen begrenzenden Faktor für die Erreichung der politischen Ziele zur Biogaseinspeisung in 2020 (6 Mrd. Nm³) bzw. 2030 (10 Mrd. Nm³) dar.

Voraussetzung für eine effiziente Gestaltung der Biogaseinspeisung ist allerdings, dass die Biogaseinspeiseanlagen dort errichtet werden, wo die Gasverbrauch ausreichend für die ganzjährige Aufnahme des Biogases ist. In verschiedenen Regionen von Deutschland ist jedoch eine ganzjährige Einspeisung ins Ortsverteilstnetz nicht ohne Rückverdichtung ins Transportnetz möglich, da entweder

- die einspeisbaren Mengen überdurchschnittlich hoch sind, z.B. bei sehr hohem landwirtschaftlichem Potenzial oder
- die Gasabsatzmengen zeitweilig gering sind (z.B. in den Sommermonaten in ländlichen Regionen).

Dies trifft insbesondere auf nordwest- und nordostdeutsche Gebiete zu. Dabei sind die Netzgebiete identifiziert worden, in denen Rückspeiseanlagen (voraussichtlich)

erforderlich sein können. Somit können rechtzeitig volkswirtschaftlich sinnvolle Lösungen für diese Regionen erarbeitet werden. Darüber hinaus wird für eine wirtschaftliche Einspeisung empfohlen Biogassammelleitungssysteme mit gemeinsamer Aufbereitung und flexibler Einspeisung zu entwickeln.

Potenzielle neue Standorte für Biogaseinspeiseanlagen

Des Weiteren erfolgte die Ausweisung potenzieller Standortflächen für Biogas- bzw. Biogaseinspeiseanlagen. Hierzu reduzieren verschiedene restriktive Faktoren wie beispielsweise Trinkwasserschutzgebiete oder Naturschutzflächen die potenziellen Flächen, welche als Bauland für Biogasanlagen genutzt werden könnten. Berücksichtigt man zudem selektive Faktoren, wie Entfernung zu Straßen und Gasleitungen, welche für Biogas- bzw. Biogaseinspeiseanlagen notwendig sind, so ist trotzdem deutschlandweit festzuhalten, dass in jeder Region potenzielle Standorte für die Erzeugung und Einspeisung zur Verfügung stehen.

Vor allem die Netzbetreiber in Gebieten mit hohem Biogaspotenzial sollten bei ihrer Zielnetzplanung die zunehmende Bedeutung der Biogaseinspeisung berücksichtigen und ggf. proaktiv, zusammen mit den Biogasanlagenbetreibern, optimale Standorte zur Errichtung von Biogasanlagen zur Einspeisung in das Gasnetz definieren. Darüber hinaus können Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung, wie sie im Projekt „Smart Gas Grids“ im Rahmen der Innovationsoffensive des DVGW erarbeitet wurden, eine Lösung für die Integration der Erneuerbaren Energien in die Gasnetze sein.

Politische Rahmenbedingungen

Ins Erdgasnetz eingespeistes Biogas stellt einen hochwertigen Energieträger dar, weil es zeitlich und örtlich getrennt von der Erzeugung genutzt werden kann. Anders als Wind- oder Solarstrom ist diese Bioenergie speicherfähig.

Da die Einspeisung von Biogas jedoch innerhalb eines stark regulierten Bereiches der Energieversorgung stattfindet, sind zusätzlich politische Entscheidungsträger sowohl in der Bundesregierung als auch auf kommunaler Ebene gefordert, die nachhaltige und wirtschaftliche Erzeugung und Einspeisung von Biogas als ein bedeutendes Element der Klimaschutzpolitik zu unterstützen. Für die vorgesehene Entwicklung der Biogaspotenziale ist eine kontinuierliche und verlässliche politische Förderung notwendig. Diese muss einerseits die Investitionssicherheit für die langfristig betriebenen Anlagen gewährleisten, Genehmigungsverfahren unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit zügig bearbeiten sowie die Information der Bevölkerung über die Bedeutung und die Nachhaltigkeit der Biogaserzeugung begleiten. Andererseits sind Einschränkungen in der Nutzung der Erneuerbaren Energien zu vermeiden, wie es gegenwärtig der Fall ist, indem allein die Verstromung des Biogases finanziell unterstützt wird und andere Nutzungsketten, wie die Verwendung in hocheffizienten Gastechnologien, mit wesentlich höheren Gesamtnutzungsgraden behindert werden.

Um die o. g. Ziele der Gasnetzzugangsverordnung auf nachhaltige Weise zumindest annähernd zu erreichen wurden Handlungsempfehlungen sowohl für die Legislative als auch die Exekutive entwickelt. Dazu gehören:

- ein bundeseinheitliches Genehmigungsverfahren für Biogasanlagen
- die Überarbeitung der Düngeverordnung

- die Stärkung der Förderung der Biomethaneinspeisung
- die Berücksichtigung von Umwelt- und Wasserschutz-Belangen durch die genehmigenden Behörden
- die zielgerichtete Überwachung der Düngepraxis

Unter der Berücksichtigung der genannten Handlungsempfehlungen ist es möglich die Biomethaneinspeisung in das deutsche Erdgasnetz auch unter Nachhaltigkeitsaspekten weiter zu steigern. Die ambitionierten Ziele der Gasnetzzu- gangsverordnung sind zwar durch das ausgewiesene Potenzial zur Biogaserzeugung gedeckt. Aber die Einspeisung konkurriert mit der direkten Verstromung des Biogases am Ort der Erzeugung. Die Bundesregierung und mit ihr die Gesellschaft sollte deshalb für die weitere Entwicklung des erneuerbaren Energieträgers Bio- gas Prioritäten vorgeben die ein höchstmögliche Nutzung und Effizienz ermögli- chen. Diese ist mit der Verteilung im Erdgasnetz gegeben.

14 Literaturverzeichnis

- [4.BImSchV 2013] Bundesregierung, BMU (Bundesministerium für Umwelt N. u. R. 2013: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV). BGBl.I , S. 973.
- [73/2009/EG] Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe, vom 19. Januar 2009, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:030:0016:0016:DE:PDF>
- [91/676/EWG] Europäische Richtlinie zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, zuletzt geändert am 22. Oktober 2008; http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/rl_nitrat_91676ewg.pdf
- [98/83/EG] Europäische Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, die zuletzt am 22. Dezember 2011 geändert worden ist, http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/trinkwv_2001/gesamt.pdf
- [1069/2009/EG] Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte), die zuletzt am 22. September 2010 geändert worden ist, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2009R1069:20101109:DE:PDF>
- [1122/2009/EG] Verordnung (EG) Nr. 1122/2009 der Kommission mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates hinsichtlich der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen, der Modulation und des integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems im Rahmen der Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe gemäß der genannten Verordnung und mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1234/2007 hinsichtlich der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen im Rahmen der Stützungsregelung für den Weinsektor, die zuletzt am 21. Dezember 2011 geändert worden ist, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:341:0033:01:DE:HTML>

- [1774/2002/EG] VERORDNUNG (EG) Nr. 1774/2002 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte, die zuletzt durch die Verordnung (EG) Nr. 777/2008 vom 4. August 2008 (ABl. L 207 vom 5.8.2008, S. 9) geändert worden ist, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:207:0009:0010:DE:PDF>
- [2000/60/EG] RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, die zuletzt am 11. März 2008 geändert worden ist, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20080321:DE:PDF>
- [2006/118/EG] Europäische Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung vom 12. Dezember 2006, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:372:0019:0031:DE:PDF>
- [2008/98/EG] Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.11.2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, Abfallrahmenrichtlinie (AbfallRRL), <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:de:PDF>
- [AEE 2013] Agentur für Erneuerbare Energien - Biogas erreicht in Kraft-Wärme-Kopplung maximale Effizienz und Klimaschutzeffekte. Online abrufbar unter: <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/startseite/detailansicht/article/19/biogas-nutzungspfade-im-vergleich.html>, zuletzt besucht am 16.07.2013.
- [AGEB 2011] AGEB AG Energiebilanzen e.V. Energieverbrauch in Deutschland. [Online] 16. Juni 2011. <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=118&archiv&preview=true>.
- [AGRAR 2012] Wiki-Agrar-Lexikon: Schwein (www.agrilexikon.de/index.php?id=schwein, abgerufen am 06.07.2012)
- [AH 2011] agrarheute.com, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH (04.08.2011): Weltmilchmarkt wird bis 2020 deutlich wachsen, Artikel, München (<http://www.agrarheute.com/milchmarkt-2020>, abgerufen am 29.06.2012)

- [ARW 2010] (Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke e.V.), ATT (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e.V.), AWBR (Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein), AWE (Arbeitsgemeinschaft der Wasserversorger im Einzugsgebiet der Elbe), AWWR (Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr), DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.) 2010: Memorandum - Forderungen zum Schutz von Fließgewässern und Talsperren zur Sicherung der Trinkwasserversorgung.
http://www.trinkwassertalsperren.de/fileadmin/att/pdf/110113_Memorandum_final.pdf, 1-5.
- [ASUE 2010] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. – BHKW-Grundlagen. Online abrufbar unter:
<http://asue.de/cms/upload/inhalte/blockheizkraftwerke/broschuere/bhkw-grundlagen-2010.pdf>, zuletzt besucht am 06.08.2013.
- [AVIKO 2011] AVIKO (10/2011): telefonische Auskunft
- [AVV 2001] Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung -AVV) vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1619) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/avv/gesamt.pdf>
- [BACH 1997] Bach et al. (1997): Handbuch N-, P-, K-bilanzierung. Berechnung der nationalen Sektor-, Flächen- und Stallbilanz nach PARCOM-Richtlinie für die Elemente Stickstoff, Phosphor und Kalium für die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Gesellschaft für Boden- und Gewässerschutz e.V.. Oktober 1997
- [Bach & Frede 2005] Assessment of Agricultural Nitrogen Balances for Municipalities – Exemple Baden-Wuerttemberg (Germany).
- [BACHMAIER 2009] Bachmaier, Hans; Bayer, Kerstin; Gronauer, Andreas; Friedel, Georg; Rauh, Stefan; Pahl, Hubert – Treibhausgasemissionen der Energieproduktion aus Biogas. Biogas Forum Bayern. 2009. Online abrufbar unter <http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Treibhausgasemissionen.pdf>, zuletzt besucht am 16.07.2013.
- [BBodSchG 1998] Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschg/gesamt.pdf>

- [BBodSchV 1999] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschv/gesamt.pdf> [Bayrische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur 1986] Nährstoffentzug- und Bedarfswerte. München
- [BDEW 2009] BDEW. (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft) 130. Gasstatistik - Bundesrepublik Deutschland - Berichtsjahr 2009. Berlin : s.n., 2011. 978-3-89554-175-9.
- [BDEW 2012] BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft), Schmitz M. 2012: Wasserwirtschaft und Gewässerschutz - Bedeutung für qualifizierte Beschäftigung in der Branche, Pestizide und Nitrat, Energie und Wasser, Demografischer Wandel. ver.di Workshop „Wasserwirtschaft in den neuen Bundesländern“. http://www.ef-ruhr.de/uploads/media/Dr._Michaela_Schmitz_-_Eckpunkte_fuer_die_Entwicklung_der_Biogaserzeugung2.pdf . 03.04.2012 in Magdeburg
- [BEE 2009] Hinrichs-Rahlwes, R.; Pieprzyk, B. (2009): Ausbauproggnose der Erneuerbare-Energien-Branche für Deutschland. Bundesverband für Erneuerbare Energie e.V.
- [BEISECKER 2012] Dr. Beisecker (07/2012): telefonische Auskunft
- [BfR 2009] Bfr-Stellungnahme Nitrat in Rucola, Spinat und Salat. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 032/2009 des BfR vom 06. Februar 2009.
- [BGK 2013] Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.(BGK) [Hg.] o.J.: Bestimmung des Nutzwertes organischer Sekundärrohstoffdünger und Bodenverbesserungsmittel. Ein Konzept zur einheitlichen Bewertung organischer Sekundärrohstoffdünger und Bodenverbesserungsmittel als Boden- und Pflanzendünger. (http://www.kompost.de/fileadmin/images/Archiv_GS/Nutzwertindex.pdf, abgerufen am 20.06.2013)
- [BGPARTNER 2013] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Biogaseinspeisung in Deutschland –Übersicht. <http://www.biogaspartner.de/project-map/list-of-projects-in-germany.html> (abgerufen am 09.04.2013)
- [BGR 1995] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000. Hannover
- [BGW 2004] (Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V.), DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.), IAWD (Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Donaeinzugsgebiet), ÖVGW

- (Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach), SVWG (Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches), IAWR (Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet), VKU (Verband kommunaler Unternehmen e.V.), VDG (Vereinigung Deutscher Gewässerschutz e.V.) 2004: Grundwassermemorandum 2004. www.iawr.org, 1-12. Köln, IAWR.
- [BlmSchG 2002] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BlmSchG) zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 27.06.2012 (BGBl. S. 1421). www.juris.de .
- [BioAbfV 1998] Bioabfallverordnung vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1504) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bioabfv/gesamt.pdf>
- [BioKraftQuG] Bundesministerium für Justiz (18.12.2006): Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz bzw. BioKraftQuG)
- [Biokraft-NachV 2009] Bundesministerium für Justiz (30.09.2009): Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung bzw. Biokraft-NachV)
- [BISZ 2012] Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau (2012): Stickstoff im Boden, http://bisz.suedzucker.de/Duengung/Naehrstoffe/Stickstoff__N_/Stickstoff_im_Boden/
- [BKA 2005] Bundeskartellamt (2005): Beschluss für Fusionsverfahren. Veröffentlichung
- [BMBF 2009] Bundesministerium für Bildung und Forschung (2009): Biogaseinspeisung. Band 6 Entwicklung und Anwendung einer GIS-Applikation zur Standortfindung und Potenzialanalyse der Biomethanerzeugung. Räumliche, ökonomisch-ökologische Bilanzierung als Bewertungsgrundlage für Energiesystemszenarien. Oberhausen u.a.
- [BMELV 2011] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2011): Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie, (http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschuere_n/Bioenergie-vollerDurchblick.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 18.07.2013)

- [BMELV 2012a] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012): MBT-0112560-0000, Weinmosternte – Endgültiges Ergebnis, 10.04.2012.
- [BMELV 2012b] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012): Biodieselanlagen (<http://www.bioenergie-regio-nen.de/index.php%3Fid%3D3347%26GID%3D0%26KID%3D7%26OID%3D0&sa=U&ei=SiaIT6TNNpHY8QOon5ntCA&ved=0CAUQFjAA&client=internal-uds-cse&usg=AFQjCNEujkEM6tbDZ18Foladwc38ySssXg>, abgerufen am 23.04.2012)
- [BMELV 2012c] BMELV (Bundesministerium für Verbraucherschutz Ernährung und Landwirtschaft 2012: Das Erneuerbare Energien-Gesetz - Daten und Fakten zu Biomasse-Die Novelle 2012.
<http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/EEG-Novelle.html>, 1-44.
- [BMELV 2013] BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) [Hg.] 2013: Cross-Compliance. <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Foerderung/Direktzahlungen/Cross-Compliance.html>, (abgerufen am 05.06.2013)
- [BMU 2004a] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland
- [BMU 2004b] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Endbericht. Darmstadt u.a.
- [BMU 2008] Verbundprojekt des Forschungszentrums Jülich gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): „Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland“, Projektpartner: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Institut für Energetik und Umwelt Leipzig, Fachhochschule für Wirtschaft Berlin, Öko-Institut Darmstadt, TU Berlin, 2008
- [BMU 2009] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat Öffentlichkeitsarbeit (2009): Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen, Anregungen für kommunale Entscheidungsträger. Dessau-Roßlau
- [BMU 2010] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Verordnung zum Schutz des Grundwassers

- (Grundwasserverordnung - GrwV) 2010, <http://www.bmu.de/binnengewasser/downloads/doc/47480.php> Letzter Zugriff: 28.02.2012
- [BMU 2012a] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse
- [BMU 2012b] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global.
- [BMV 2012] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (21.06.2001): Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung bzw. BiomasseV), letzte Änderung: 24.02.2012
- [BMVBS 2012] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012): Investitionen in die Bundesfernstraßen (<http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB-LA/investitionen-in-die-bundesfernstrassen.html?nn=36118>, abgerufen am 07.11.2012)
- [BNatSchG 2009] Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz- BNatSchG)2009, http://www.raumplanung.tu-dortmund.de/rur/cms/Medienpool/Gesetzestexte/BNatSchG_Stand_2009.pdf, letzter Zugriff: 28.02.2012
- [BOGK 2011] Bundesverband der obst-, gemüse- und kartoffelverarbeitenden Industrie e.V. (2011): Jahresbericht 2010/2011
- [BVDF 2011] Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e.V. (2011): Geschäftsbericht 2010/2011
- [BW 2007] Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, C. Rösch, K. Raab, J. Skarka, V. Stelzer (2007): Energie aus Grünland – eine Nachhaltige Entwicklung?; Karlsruhe; ISSN 0947-8620
- [BZ 2009] Bauernzeitung (2009): Abschluss zwischen Agrana und Rübenbauern erzielt (<http://www.bz-online.at/index.php?id=2500%2C45172%2C%2C>, abgerufen am 20.10.2011)
- [CHEMIE 2013a] Chemie.de Information Service GmbH [Hg.] (2013): Fermentation. (<http://www.chemie.de/lexikon/Fermentation.html>, abgerufen am 05.06.2013)

- [CHEMIE 2013b] Chemie.de Information Service GmbH [Hg.] (2013): Nährstoffsaldo. (<http://www.chemie.de/lexikon/N%C3%A4hrstoffsaldo.html> , abgerufen am 05.06.2013)
- [CHEMIE 2013c] Chemie.de Information Service GmbH [Hg.] (2013): Pasteurisierung. (<http://www.chemie.de/lexikon/Pasteurisierung.html>, abgerufen am 05.06.2013)
- [CIMA 2007] CIMA GmbH: Masterplan Einzelhandel Hanau, Teil 1: Szenarien zur Einzelhandelsentwicklung (05/2007). (<http://test.hanau.de/mam/cms01/lih/bau/entwicklung/glossar.pdf>, abgerufen am 31.05.2012)
- [DAMM 2010] Vortrag zur Ackerbautagung der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- [DBB 2011] Deutscher Brauer-Bund e.V.: Bierausstoß in Deutschland 1960-2009 (<http://www.brauerbund.de/download/Archiv/PDF/statistiken/Bieraussto%C3%9F%201960%20-%202011.pdf>, abgerufen am 10.04.2012)
- [DBB 2010] Deutscher Brauer-Bund e.V.: Deutsche Brauwirtschaft in Zahlen (<http://www.brauerbund.de/download/Archiv/PDF/statistiken/%C3%9Cbersicht%20-%20Deutsches%20Brauwirtschaft%20in%20Zahlen%20002%20-%202010.pdf>, abgerufen am 10.04.2012)
- [DBFZ 2010] Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (2010): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, FZK: 03MAP138), Zwischenbericht
- [DBFZ 2011] Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH: Strohpotenziale (<http://strohpotenziale.dbfz.de/index.html>, abgerufen am 02.12.2011)
- [DBFZ 2013] Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (2013): Stromerzeugung aus Biomasse 03 MAP250. Zwischenbericht. Leipzig. 15.06.2013. Projektnummer DBFZ: P3310025 (http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Referenzen/Berichte/biomassemonitoring_zwischenbericht_bf.pdf, abgerufen am 20.09.2013)
- [DBI 2012] DBI im Auftrag vom DVGW. Smart Gas Grids, DVGW-Projekt G3-01/02-10. Bonn, 2010 bis 2012.
- [DENA 2013] dena Deutsche Energie-Agentur. Branchenbarometer Biogas. [Online] [Zitat vom: 28. Januar 2013.] <http://www.biogaspartner.de/fileadmin/biogas/documents/>

- Branchenbarometer/Branchenbarometer_Biomethan_2_2012_Download.pdf.
- [DIN 4049-3] DIN-Norm 4049 Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie (Oktober 1994)
- [DFV 2008] Deutscher Fleischerverband (2008): Auszug aus dem Geschäftsbericht 2007/08 – Daten und Fakten: Fleischverzehr (<http://www.fleischerhandwerk.de/medien--und-presseservice/daten-und-fakten/geschaeftsbericht/auszug-aus-dem-geschaeftsbericht.html>, abgerufen am 03.07.2012)
- [DFV 2011] Deutscher Fleischerverband (2012): Auszug aus dem Geschäftsbericht 2010/11 – Daten und Fakten: Fleischverzehr (<http://www.fleischerhandwerk.de/medien--und-presseservice/daten-und-fakten/geschaeftsbericht/auszug-aus-dem-geschaeftsbericht.html>, abgerufen am 03.07.2012)
- [DGG 2002] Arbeitskreis "Hydrogeologische Modelle und Grundwassermanagement". 2002: Hydrogeologische Modelle - Ein Leitfaden mit Fallbeispielen. Heft 24, 1-120. Hannover, Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (DGG)
- [DGG 2010] Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (DGG). 2010: Hydrogeologische Modelle - Bedeutung des a priori-Wissens. Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (Hrsg.): Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. Heft 70, 1-68.
- [DirektZahlVerpflG 2004] Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz: Gesetz zur Regelung der Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen durch Landwirte im Rahmen gemeinschaftsrechtlicher Vorschriften über Direktzahlungen und sonstige Stützungsregelungen, das am 28. April 2010 zuletzt geändert worden ist, <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/DirektZahlVerpflG.pdf>
- [DirektZahlVerpflV 2004] Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung: Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (DirektZahlVerpflV), die zuletzt am 15. Dezember 2011 durch Art. 3 V eBAnz AT144 V1 geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/direktzahlverpflv/BJNR277800004.html>

- [DMH 2012] Deutsche Melasse Handelsgesellschaft (2012): Monatlicher Marktbericht Melasse Januar 2012. Bericht
- [DMK 2011] Deutsches Maiskomitee (2011): Silomaisanbaufläche in Deutschland im mehrjährigen Vergleich
- [DüMG 2009] Düngemittelgesetz, zuletzt geändert: Dezember 2006. Zum 6.2.2009 aufgehoben und durch das Düngegesetz [DüngeG] ersetzt <http://gesetzesweb.de/DuengmG.html>
- [DüMV 2003] Düngemittelverordnung, zuletzt geändert im November 2008, <http://www.bgblportal.de/BGBL/bgbl1f/bgbl103s2373.pdf>
- [DüngeG 2009] Düngegesetz, zuletzt geändert: Januar 2009, <http://www.bgblportal.de/BGBL/bgbl1f/bgbl109s0054.pdf>
- [DüV 2009] Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen, zuletzt geändert: 06.02.2009, http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/d_v/gesamt.pdf
- [DVGW 2005] DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.). (2005): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Band 1 bis Band 4
- [DVGW 2007] DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.). 08.01.2007: Gewässerschonende Produktion von Energiepflanzen und gewässerschonender Einsatz von Gärresten aus Biogasanlagen in der Pflanzenproduktion aus Sicht des Gewässerschutzes. DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.) (Hrsg.): http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/angebote/forschung/report/pdf/Positionspapier_DVGW.pdf abgerufen am 27.5.2013. Bonn
- [DVGW 2008] DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.). 2008: Energiepflanzenproduktion und Einsatz von Gärresten aus Biogasanlagen aus Sicht des Gewässerschutzes - Positionspapier. DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.) (Hrsg.): http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/ressourcen/energiepflanzen_rev1.pdf . Bonn, 26.11.2008
- [DVGW 2009] DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), Abteilung Grundwasser und Boden (2009): Bewertung der langfristigen Auswirkungen auf Boden, Pflanze, Luft und Wasser bei der Erzeugung von Biogas und der Einspeisung in das Erdgasverteilnetz. GW 1/01/07-A/B. Karlsruhe
- [DVGW 2010a] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.). 2010: Erzeugung von Biomasse für die Biogasge-

- winnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes. DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.) (Hrsg.): Wasser-Information Nr. 73, Ausgabe 08/2010.
- [DVGW 2010b] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.), VKU (Verband kommunaler Unternehmen e.V.). 2010: Gemeinsame Stellungnahme vom 05.07.2010 zum Entwurf der Zweiten Verordnung zur Änderung der Düngerverordnung - Entwurf vom 01.06.2010.]
- [DVGW 2011a] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.). 2011: Gewässerschutz und chemischer Pflanzenschutz - Positionspapier vom 21.11.2011. 1-5. Bonn
- [DVGW 2011b] DBI, EBI, GWI, Forschungszentrum Jülich im Auftrag vom DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.). 2011: Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energieträgern. Einfluss moderner Gastechnologien in der häuslichen Energieversorgung auf Effizienz und Umwelt - Studie vom 13.12.2011. DVGW-Förderkennzeichen G 5/04/09-TP2 - Systemanalyse II. Bonn
- [DVGW 2012] DVGW-Projektkreis Landbewirtschaftung und Gewässerschutz. 2012: Anforderungen an eine Gewässer schonende Biogaserzeugung - unveröffentlichter Entwurf, Stand: 13.03.2012.
- [DVGW 2013] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.), BGK (Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.). 2013: Eignung von Gärprodukten aus Biogasanlagen für die landbauliche Verwertung in Trinkwasserschutzgebieten für Grundwasser DVGW-BGK-Information vom 19.06.2013.
<http://www.dvgw.de/wasser/ressourcenmanagement/gewaesserschutz/energiepflanzen-und-gaerprodukte/> abgerufen am 25.6.2013, 1-15.
- [DVGW G 260] DVGW. G 260. Gasbeschaffenheit. Mai 2008.
- [DVGW G 290] DVGW. G 260 (M). Rückspeisung von eingespeistem Biogas bzw. Erdgas in vorgelagerte Transportleitungen. Dezember 2011
- [DVGW G 685] DVGW. G 685, Gasabrechnung. Dezember 2004.
- [DVGW W 104] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. 10.2004: W104 - Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung. DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.) (Hrsg.): Arbeitsblatt W 104, Technische Regel Ausg. 10/2004. ISSN 0176-3504. Bonn, WVGW-Verlag.

- [DWA 2010] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft (2010): Merkblatt DWA-M 907
- [EG 2009] EG-Verordnung Nr. 1120/2009 (29. Oktober 2009) mit Durchführungsbestimmungen zur Betriebsprämienregelung gemäß Titel III der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe
- [EHI 2008] EHI Retail Institute GmbH (2008): Sortimentsbreitenerhebung (http://www.ehi.org/fileadmin/images/content_images/Presse/Handel_aktuell/Sortbreite_Definitionen.pdf, abgerufen am 02.05.2012)
- [EVIDERO 2012] Kritisch Nachhaltig Direkt Meinungsbildend evidero.de-Portal: Welche Süße ist die Beste. Thema „Essen“ (<http://www.evidero.de/themen/welche-suse-ist-die-beste>, abgerufen am 25.05.2012)
- [FAL 2004] Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft: Kommen wir im Jahr 2025 zu geschlossenen Nährstoffkreisläufen?, Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 274, Braunschweig 2004
- [FFHRL 1992] RICHTLINIE 92/43/EWG DES RATES vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen, die zuletzt am 20. November 2006 geändert worden ist, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/consleg/1992/L/01992L0043-20070101-de.pdf>
- [FNR 2006] Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) (2010): Studie. Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, 2. Auflage. Gülzow
- [FNR 2010] Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) (2010): Leitfaden Biogas, 5. vollständig überarbeitete Auflage. Gülzow
- [FNR 2011] Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) (2011): Biogas – Pflanzen, Rohstoffe, Produkte, 7. vollständig überarbeitete Auflage. Gülzow
- [FNR 2012a] Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) (2011): Bestandsentwicklung Biogasanlagen
- [FNR 2012b] Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) (2011): Biogasanlagen zur Biomethan-Produktion in Deutschland
- [FNR 2012c] Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) (2012): Nachwachsende Rohstoffe in Biogasanlagen –

- massebezogener Substrateinsatz 2011
(<http://mediathek.fnr.de/catalog/product/gallery/id/95/image/679/>, abgerufen am 30.05.2013)
- [FNR 2012d] Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (FNR) (2012): Biomethan (http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_biomethan_web.pdf, abgerufen am 20.06.2013)
- [FRUCHTFOLGE 2012] Fruchtfolgen: Grundsätze und Empfehlungen (http://www.raiffeisen.com/pflanzen/ackermanager/saatgut_fruchtfolge_html, abgerufen am 19.07.2012)
- [GasNZV 2010] Gasnetzzugangsverordnung: Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungssystemen. Ausfertigungsdatum: 03.09.2010, letzte Änderung 30.04.2012 http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gasnzv_2010/gesamt.pdf (abgerufen am 08.01.2013)
- [Gauger et. al. 2008] National Implementation of the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Effects), Zusammenfassung, Teil 1: Deposition Loads: Methoden, Modellierung und Kartierungsergebnisse, Trends, Dessau 2008
- [GENESYS 2011] Genesys Biogas AG (2011): Biogasausbeute von Hofdüngern und Co-Substraten. Genesys-Merkblatt M101
- [BACH] Arisleidy Stolzenberger-Ramirez (2010): Phosphorkreislauf. (<http://www.geodz.com/deu/d/Phosphorkreislauf>, abgerufen am 25.06.2013)
- [GEODZ 2013] Arisleidy Stolzenberger-Ramirez (2013): Mineralisierung. (<http://www.geodz.com/deu/d/Mineralisierung>, abgerufen am 05.06.2013)
- [GEWEB 2012] GeWeB – Gesellschaft für Weiterbildung im Bauwesen GbR (2012): Phosphorkreislauf, <http://www.geweb.de/OWS/Programm/lerneinheit?lp=2191&s=16>
- [GRUSCHKA 2009] Gruschka, N. (2009): Regelquerschnitt RQ 7,5; 9,5; 10,5; 29,5. (http://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinie_f%C3%BCr_die_Anlage_von_Stra%C3%9Fen_%E2%80%93_Querschnitt, abgerufen am 02.05.2012)
- [GUHL 2009] Einfluss einer Kalium- und Magnesiumdüngung zu Mais, auf Wachstum und Ertrag unter Wasserstress (Feldversuch) http://digibib.hs-nb.de/file/dbhsnb_derivate_0000000385/Bachelorarbeit-Marquardt_Guhl-2009.pdf

[HEINRICHSMEYER 1996]

Entwicklung eines Gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021). Vervielfältigtes Manuskript. Bonn/Braunschweig

[HERBKE 2006]

HERBKE N. et al., 2006. Urban Water Management Case Study I: Berlin. Ecologic - Institute for International and European Environmental Policy. Milan.

[HMUELV 2008]

Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (03/2008): Optimierung der biologischen Abfallbehandlung in Hessen. Witzenhausen

[HÖTTE 2010]

Hötte S., Stemann G., Lütke Entrup N. 2010: Fruchtfolge-Systeme: Was rechnet sich? Top agrar [3/2010], 96-98. Münster, Landwirtschaftsverlag Münster

[IBK 2005]

Internationale Bodenseekonferenz, IBK (2005): Controllingbericht 2004 der IBK-Arbeitsgruppe Landwirtschaft/ Umweltschutz, Bericht im Rahmen INTERREG IIIA

[IE 2004]

Institut für Energetik und Umwelt gemeinnützige GmbH (2004): Biogasgewinnung aus Gülle, organischen Abfällen und aus angebaute Biomasse, Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse. DBU Projekt 15071. Leipzig

[IE 2006]

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH et al. (2006): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern, Endbericht

[ILE 2005]

Friedel, R. (2005): Nutzung des Biomassepotenzials in der Region Magdeburg. Präsentation

[ISPA 2006]

Bäurle, H. (22.09.2006): Entwicklung der Vieh- und Fleischwirtschaft in Deutschland unter Berücksichtigung des Einflusses von Tierseuchen. Hochschule Vechta. Institut für Strukturforchung und Planung in agrarischen Intensivgebieten. Jahrestagung der Verarbeitungsbetriebe Tierischer Nebenprodukte. Krefeld

[ISWA 2012]

Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Kranert, M. (2012): Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Vermeidung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland

[ITAS 2003]

Rösch, C., Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse: Energie aus Grünland - eine Nachhaltige Entwicklung?, Technikfolgenabschätzung, Nr. 3 / 4, 12. Jahrgang - November 2003, S. 38-45

- (<http://www.itas.fzk.de/tatup/033/roes03a.htm>, abgerufen am 02.07.2012)
- [IWR 2011] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien: Bioethanol-Produktionskapazitäten (<http://www.iwr.de/bioethanol/kapazitaeten.html>, abgerufen am 20.09.2011)
- [IZES 2011] IZES gGmbH Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Prof. Baur (2011): Biomasse-Potenzialanalyse für das Saarland, Endbericht. Saarbrücken
- [JAGD 2011] Jagderleben (2011): Preis Weintrester (http://www.jagderleben.de/pirschforumarchiv/board_entry.php?id=58703#p58708, abgerufen am 11.10.2012)
- [JKI 2010] Julius Kühn-Institut: Flächenbilanz von 1990 bis 2020, <http://berichte.bmelv-statistik.de/MBT-0111130-0000.xls>, letzter Zugriff 06.07.2012
- [JKI 2011] Julius Kühn-Institut: Handbuch Berechnung der Stickstoff - Bilanz für die Landwirtschaft in Deutschland Jahre 1990 – 2008, Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 159, Braunschweig 2011
- [K+S Kali GmbH 2012] Hg. Düngemittel-Kalium. http://www.kali-gmbh.com/dede/fertiliser/advisory_service/nutrients/potassium.html, letzter Zugriff 06.07.2012
- [KALTSCHMITT 2003] Kaltschmitt, M.; Merten, D.; Fröhlich, N.; Nill, M. (2003): Energiegewinnung aus Biomasse, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Berlin
- [KALTSCHMITT 2009] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2009): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [KARPENSTEIN-MACHAU 2010] Karpenstein-Machan M., Weber Ch. 2010: Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen. Naturschutz und Landschaftsplanung 42[10], 312-320. Stuttgart, Eugen Ulmer kg
- [KERN 2011] Kern, M.; Raussen, T. (2011): Biogas-Atlas 2011/12, Anlagenbuch der Vergärung biogener Abfälle in Deutschland. Witzenhausen
- [KIEFER & BALL 2008] Kiefer J., Ball T. 17.06.2008: Leitlinien für den gewässer-schützenden Anbau von Energiepflanzen und die landwirtschaftliche Verwertung von Gärrückständen in Wassereinzugsgebieten. DVGW - Technologiezentrum Wasser (TZW) (Hrsg.): http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/meindvgw/forschung/w1_03_05a.pdf, 1-26.

- [KIEFER 2009] Kiefer J., Ball T., Karch U., Köppel W. 07.2009: Bewertung der langfristigen Auswirkungen auf Boden, Pflanze, Luft und Wasser bei der Erzeugung von Biogas und der Einspeisung in das Erdgasverteilnetz.
http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/meindvgw/forschung/gw1_01_07ab.pdf Abschlussbericht des DVGW-Projektes GW1/01/07-A/B. Bearbeitet durch das DVGW - Technologiezentrum Wasser Karlsruhe und die DVGW-Forschungsstelle Karlsruhe, 1-86.
- [KLOCKE 2010] Klocke, B.; Pflaum, H.: Endbericht zum Projekt „Kooperationsvorhaben Nachhaltiges Biogas“. Förderkennzeichen: 64.65.69-EN-1004, gefördert durch das MWME NRW im Rahmen des Wettbewerbs „energie.nrw“, 2010
- [KOERBER 2009] Von Koerber, K.; Kretschmer, J.; Prinz, S.; Dasch, E. (2009): Globale Nahrungssicherung für eine wachsende Weltbevölkerung – Flächenbedarf und Klimarelevanz sich wandelnder Ernährungsgewohnheiten; J. Verbr. Lebensm. 4 (2009); S. 174-189
- [KÖPPEL et al. 2011] Köppel, Wolfgang; Buchholz, Dominic; Götz, Manuel; Kussin, Peter; Wonneberger, Anna-Maria - Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energie-trägern (Teilprojekt I). Abschlussbericht: Systemanalyse I. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Karlsruhe, 2011.
- [KRIEG 2012] Krieg, R. (2012): Energie aus Stroh – technische Herausforderungen diskutiert. Ausgabe Nr.,. 14/12 04.04.2012 (<http://www.aid.de/presse/archiv.php?mode=beitrag&id=5725>, abgerufen am 04.04.2012)
- [Krüll 1988] Stickstoffbilanz in den Kreisen der Bundesrepublik Deutschland. - In: Henrichsmeyer et al. : Endbericht zum Forschungsvorhaben „Wirkungen agrarpolitischer Maßnahmen auf Ziele von Umwelt, Natur- und Landschaftschutz“. Bonn
- [KTBL BIOGAS 2009] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2009): Faustzahlen Biogas. 2. Auflage, Darmstadt
- [KTBL EP 2006] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2006): Energiepflanzen. Darmstadt
- [KTBL LW 2009] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2009): Faustzahlen Landwirtschaft. 14. Auflage, Darmstadt
- [KWS 2011] KWS Saat AG (2011): Biogas aus Zuckerrüben. Potenziale und Praxiserfahrungen. Informationsblatt
- [Kuntze et al. 1988] Bodenkunde. 4. Aufl. Stuttgart

- [LAWA 1998] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 1998: Richtlinie für Heilquellenschutzgebiete. ISBN-Nr. 3-88961-217-2, 1-16. Kulturbuchverlag Berlin.
- [LEIBLE 2003] Leible, A.; Arlt, B.; Fürniß, B.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.; Rösch, C.; Wintzer, D. (2003): Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft
- [LEOPOLDINA 2012] Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina - Nationale Akademie der Wissenschaften (2012): Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen. Halle
- [LFL 2004] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2004): Biogasausbeuten verschiedener Substrate. (http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/?sel_list=20%2Cb&strsearch=&pos=left, abgerufen am 19.01.2012)
- [LFL 2013a] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) [Hg.] (2013): Biogasgärreste. Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. (http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_31972.pdf, abgerufen am 03.06.2013)
- [LFL 2013b] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) [Hg.] (2013): Wirtschaftsdünger und Gewässerschutz. Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft. (<http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/umwelt/34576/>, abgerufen am 05.06.2013)
- [LFU 2013] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) [Hg.] (2013): Grundwasserneubildung. (<http://www.lfu.bayern.de/wasser/grundwasserneubildung/index.htm>, abgerufen am 05.06.2013)
- [LUTUM 2012] Lutum & Tappert DV-Beratung GmbH. Gas2012_01 Netzgebietstabellen. 2012.
- [LVERMGEO 2013] Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz 2013: Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM). <http://www.lvermgeo.rlp.de/index.php?id=2867> .
- [LVERMSN 2013] Landesvermessungsamt Sachsen 2013: Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM). http://www.landesvermessung.sachsen.de/inhalt/produkte/dlm/dlm_detail.html .
- [LWK 2011] Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2011): Richtsätze zur Ermittlung von Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen. Informationsblatt
- [LWK NS 2011] Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2011): Strohpreisrechner. Excel-Tool

- [MARSCHNE 2012] Marschne, Prof. Dr. Bernd, Skript aus dem Modul Ökosysteme Mitteleuropas, Sommersemester 2012, Ruhr-Universität Bochum
- [MIV 2011] Milchindustrie-Verband e.V. (2011): Beilage zum Geschäftsbericht 2010/2011. Zahlen – Daten – Fakten
- [NENTWIG 2012] Persönliche Auskunft von Hr. Nentwig, Wasserbeschaffungsverband Osnabrück
- [NITSCH 2008] Nitsch H., Osterburg B., von Buttler C., von Buttler H.-B. 03.2008: Aspekte des Gewässerschutzes und der Gewässernutzung beim Anbau von Energiepflanzen. IGLU (Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt), Institut für ländliche Räume (Hrsg.). Braunschweig
- [NSGVO 2001] Ordnungsbehördliche Verordnung zur Anweisung des Gebietes „Davert“, Stadt Münster, im Regierungsbezirk Münster als Naturschutzgebiet, http://www.bezregmuenster.nrw.de/startseite/abteilungen/abteilung5/Dez_51_Natur_und_Landschaftsschutz_Fischerei/Naturschutzgebietsverordnungen_im_Regierungsbezirk_Muenster/MS_Liste_der_Schutzgebietsverordnungen_in_der_Stadt_Muenster/Amtsblattauszuege/Davert_Muenster/amtsblatt44_2001_MS.pdf
- [NSGVO 2011] Verordnung der Regierung von Unterfranken vom 21.12.2011 Nr. 55.1-8622.01-9/83 über das Naturschutzgebiet „Marsberg-Wachtelberg“ ..171, http://www.regierung.unterfranken.bayern.de/imperia/md/content/regufr/aktuelles/2012/pi_011_naturschutzgebiet_marsberg_wachtelberg_amtsblatt.pdf
- [OGewV 2011] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV) vom 20.07.2011. BGBl I S. 1429.
- [OVID 2012] Verband der Ölsaaten verarbeitenden Industrie in Deutschland: Kennzahlen Deutschland 2010 (<http://www.ovid-verband.de/unsere-branchen/daten-und-grafiken/kennzahlen-deutschland/>, abgerufen am 13.04.2012)
- [PARCOM 1993] (Paris-Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung): Dritte Sitzung der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe zur Reduzierung der Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft – Anlage 1: PARCOM-Richtlinien für die Berechnung von Mineralbilanzen

- [PÖSCHL 2008] Pöschel, S. (April 2008): Bilder Straßenquerschnitt; Randstreifen, Mittelstreifen, Bankett.
(<http://de.wikipedia.org/wiki/Stra%C3%9Fenquerschnitt>, abgerufen am 02.05.2012)
- [PROBST 2012] Probst, B. (2012): persönliche Auskunft
- [PROPLANTA 2012] Proplanta GmbH & Co. kg (13.04.2012): Rückgang des Kartoffelanbaus 2012 erwartet
(http://www.proplanta.de/Agrar-Nachrichten/Agrarwirtschaft/Kartoffelanbau-2012_article1334301669.html, abgerufen am 23.07.2012)
- [PROVIEH 2012] PROVIEH Verein gegen tierquälerische Massentierhaltung e.V. (2012): Milchviehhaltung – ein kurzes Leben für viel Milch. Kiel
- [PROVIANDE 2012] Proviande (2012): Datenblatt zu Gewichtsanteilen von Schlachtresten
- [RMBL 2009] jeweilige Landesämter für Umwelt (2009): Abfallbilanzen der 16 Bundesländer
- [RUSS 2013] A. Russ [Hg.] (2013): Wasser-Guide. Rohwasser.
(<http://www.wasser-guide.de/wasserarten/rohwasser/index.html>, abgerufen am 05.06.2013)
- [RWZ 2010] RWZ-agrarReport 2/2010: Pflanzenbau – Rapsanbau gefragt wie nie, S.14, 15
- [SAATENUNION 2009] Brauer, D (2009): Ölsaaten: Perspektiven und Ziele, Saaten Union
- [SchALVO BW 2001] Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung des Landes Baden-Württemberg, zuletzt geändert: 18. Juni 2010, http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servelet/PB/show/1317622_11/05.05.2010%20-%20SchALVO%20Änderung%20Verordnung%20GBl.%20vom%2018.%20Juni%202010%20.pdf
- [SCHEFFER 2002] Scheffer, F.; Schachtschabel, P. et al.: Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin 2002, ISBN 3-8274-1324-9
- [SCHNEIDER 2009] Schneider, F. (2009): Lebensmittel im Abfall – mehr als eine technische Herausforderung; Ländlicher Raum, Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- [SCHOLWIN 2007] Scholwin, F., Daniel, J., Paterson, M. (2007): Biogaszeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft. Teilbericht 2: Erhebung der mit Trockenfermentationsverfahren erschließbaren energetischen Potenziale in Deutschland, Vergleichende ökonomische und ökologi-

- sche Analyse landwirtschaftlicher Trockenfermentationsanlagen, Endbericht; Forschungsvorhaben im Auftrag der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, FKZ 22011701
- [SCHOLZ 2001] Scholz, V. (2001): Stand und Perspektiven der Biogasgewinnung in Brandenburg. In: Tagungsdokumentation Perspektiven der Kraft-Wärme-Kopplung
- [SCHORN 2013] Schorn, S. [Hg.] 2013: Mineralienatlas. Karst. (<http://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Karst>, abgerufen am 05.06.2013)
- [SENN 2003] Senn, T.; Luca, S. F. (2003): Studie zur Bioethanolproduktion aus Getreide in Anlagen mit einer Jahresproduktionskapazität von 2, 5 und 9 Mio. Litern
- [SLAK 2009] Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen; Schneider-Böttcher, I. (2009): Über die öffentlich rechtliche Abfallentsorgung getrennt erfasste organische Abfälle der Bundesländer für das Jahr 2009. Kamenz
- [SLL 2008] Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2008): Ethanolgetreide und Schlempeverfütterung. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Heft 7/2008
- [SMUL 2003] Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Fachbereich Ländlicher Raum, Betriebswirtschaft und Landtechnik (2003): Biogaserzeugung und -verwertung (http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/jsp/inhalt.jsp?seite=detail&pub_id=52&count=10&navi=88&sort=ERSCH_JAHR&anz=10&sqla=ok&sqlb=ok&von=&suche=T, abgerufen am 04.06.2012)
- [STALYS 2010] Real Estate Advisory (07/2010): Lebensmitteldiscounter. (<http://www.stalys.de/data/ld03.htm>, abgerufen am 31.05.2012)
- [STATISTA 2012a] Statista (2012): Gesamtlänge des Autobahnnetzes in Deutschland 2010 – Entwicklung der Gesamtlänge der Bundesautobahnen von 1970 bis 2010 (in Kilometern)
- [STATISTA 2012b] Statista (2012): Straßenlänge der Bundesstraßen – Entwicklung der Straßenlänge der Bundesstraßen von 1950 bis 2010 (Stand jeweils 1. Januar) in Kilometern
- [STB 1993] Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Fachserie 3, reihe 3, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung 1991. Metzler Poeschel. Wiesbaden
- [STB 2007] Statistisches Bundesamt (2007): Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung. Qualitätsbericht 2007

- [STB 2008] Statistisches Bundesamt (2008): Milcherzeugung auf Landkreisebene
- [STB 2010a] Statistisches Bundesamt (2010): Ergebnisse der allgemeinen Agrarstrukturerhebung, Weinanbau und Weinerzeugung
- [STB 2010b] Statistisches Bundesamt (2010): Weinerzeugung. Fachserie 3 Reihe 3.2.2, 2010
- [STB 2010c] Statistisches Bundesamt (2010): Betriebe mit Weinbau – Landwirtschaftszählung/Agrarstrukturerhebung, Fachserie 3 Reihe 2.2.3, 2010
- [STB 2010d] Statistisches Bundesamt (2010): Hektarerträge ausgewählter landwirtschaftlicher Feldfrüchte
- [STB 2010e] Statistisches Bundesamt (2010): Landwirtschaftliche Betriebe mit Ackerland und deren Ackerfläche nach Fruchtarten
- [STB 2011a] Statistisches Bundesamt (08/2011): Umwelt - Abfallbilanz 2009. Wiesbaden
- [STB 2011b] Statistisches Bundesamt (08/2011): Umwelt - Zeitreihe zum Abfallaufkommen – 1996-2009. Wiesbaden (https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/ZeitreiheAbfallaufkommen19962009.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 02.05.2012)
- [STB 2011c] Statistisches Bundesamt (2011): Verkehrsinfrastruktur in Deutschland (<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/UnternehmenInfrastrukturFahrzeugbestand/Tabellen/Verkehrsinfrastruktur.html?nn=50920>, abgerufen am 24.05.2012)
- [STB 2011d] Statistisches Bundesamt (10/2011): Straßen des überörtlichen Verkehrs (http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_jb16_jahrtab36.asp, abgerufen am 24.05.2012)
- [STB 2011e] Statistisches Bundesamt (08/2011): Umwelt – Zeitreihe zum Abfallaufkommen – 1996-2009, Wiesbaden
- [STB 2011f] Statistisches Bundesamt (2011): Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Bevölkerungsfortschreibung. Wiesbaden
- [STB 2012a] Statistisches Bundesamt (2012): Pressemitteilung Nr. 033 vom 30.01.2012: Bierabsatz 2011 nahezu unverändert bei 98,2 Millionen Hektolitern (https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2012/01/PD12_033_799.html, abgerufen am 10.04.2012)

- [STB 2012b] Statistisches Bundesamt (2012): Tierische Erzeugung – Anzahl der geschalteten Tiere von Tieren aus dem In- und Ausland
(<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaft/TierischeErzeugung/Tabellen/AnzahlSchlachtungen.html?nn=50908>, abgerufen am 12.04.2012)
- [STB 2012c] Statistisches Bundesamt (2012): Tierische Erzeugung – Geflügelfleischerzeugung nach Geflügelarten, Herrichtungsform und Angebotszustand
(<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaft/TierischeErzeugung/Tabellen/Geflugelfleisch.html?nn=50908>, abgerufen am 12.04.2012)
- [STB 2012d] Statistisches Bundesamt (2012): Schlachtungen und Fleischerzeugung, Fachserie 3, Reihe 4.2.1, Vj 2011
- [STB 2012e] Statistisches Bundesamt (2012): Geflügel, Fachserie 3, Reihe 4.2.3, Vj 2011
- [STB 2012f] Statistisches Bundesamt (2012): Erhebung über Biotreibstoffe
- [STB 2012g] Statistisches Bundesamt (2012): Gehaltene Tiere: Deutschland, Jahre, Tierarten – Allg. und Repräs. Erhebung über die Viehbestände Deutschland. Wiesbaden
- [STB 2012h] Statistisches Bundesamt (2012): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei; Wachstum und Ernte, Feldfrüchte, Fachserie 3, Reihe 3.2.1, Vj 2011, Wiesbaden
- [STB 2012i] Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2012): Landwirtschaftliche Betriebe und landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) nach Kulturarten
- [STB 2012j] Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2012): Landwirtschaftliche Betriebe und landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) n. Kulturarten – Erhebungsjahr – regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte – Allgemeine Agrarstrukturerhebung, Wiesbaden
- [STB 2012k] Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2012): Hektarerträge ausgewählter landwirtschaftlicher Feldfrüchte – Jahressumme – regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte – Erntestatistik, Wiesbaden
- [STB 2012l] Statistisches Bundesamt 2012: Statistisches Jahrbuch 2012.
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Publikationen.html>, 1-687. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.
- [STUA 2005] Staatliches Umweltamt Münster (Hrsg.): Gewässerbelastung durch Stickstoffeinträge im Münsterland vom Februar 2005,

- <http://www.umweltamt.org/ibase/module/medienarchiv/daten/berichte/2005/nbericht.pdf>. Letzter Zugriff: 28.02.2012
- [THRÄN 2005] Thrän, D.; Weber, M.; Scheuermann, A.; Fröhlich, N.; Zeddies, J.; Henze, A.; Thoroer, C.; Schweinle, J.; Fritsche, U. R.; Jenseit, W.; Rausch, L.; Schmidt, K. (2005): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Leipzig
- [THRÄN 2008] Thrän, D.; Junold, M. (2008): Energetische Nutzung von Stroh in Europa – Rahmenbedingungen, Potenziale und Entwicklungen. Vortrag
- [TierNebG] Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (04.08.2008): Gesetz zur Regelung der Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte, das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 91 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/tiernebg/gesamt.pdf>
- [TierNebV 2006] Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung vom 27. Juli 2006 (BGBl. I S. 1735), die zuletzt durch Artikel 2 Abs. 92 G des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist, <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/tiernebv/gesamt.pdf>
- [TIVY 1993] Tivy J. (1993): Landwirtschaft und Umwelt: Agrarökosysteme in der Biosphäre. Spektrum Akademischer Verlag, Deutschland
- [TLL 2002] Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2002): Standpunkt zur Verwertung von Rapskuchen in der Thüringer Landwirtschaft. 3., veränderte Auflage
- [TLL 2008] Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2008): Stroh – Potenziale, Eigenschaften, Rahmenbedingungen. Vortrag zur 1. internationalen Fachtagung-Strohenergie
- [TLL 2010] TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft), BMELV (Bundesministerium für Verbraucherschutz E. u. L., FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.). 2010: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen - Ergebnisse des Verbundprojektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, EVA I“. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.(FNR) (Hrsg.): 3. Auflage, 1-119. Gülzow
- [TLL 2012] Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2012): Vergärung von Stroh – Stand und Perspektiven. Beitrag zur 2. Internationalen Strohtagung Berlin

- [TLL 2013] Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft [Hg.] (2013): Sorghumhirsen. (<http://www.eva-verbund.de/themen/fruchtarten/sorghum.html>, abgerufen am 05.06.2013)
- [TrinkwV 2001] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 21. Mai 2001 (BGBl.I S. 959), in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. November 2011 (BGBl.IS.2370), http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/trinkwv_2001/gesamt.pdf
- [UBA 2003] Umweltbundesamt (Hrsg.): Quantifizierung der Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands auf der Grundlage eines harmonisierten Vorgehens, Berlin 2003
- [UBA 2011] Umweltbundesamt (Hrsg.): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland, Anhang 11, Dessau 2008, <http://www.uba.de/uba-info-medien/4141.html>, letzter Zugriff 06.07.2012
- [UFOP 2007] Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V.: Information – Hintergrund – Erzeugung und Verwendung von Raps in Deutschland. Berlin (http://www.ufop.de/downloads/10_Rapsverwendung.pdf, abgerufen am 11.04.2012)
- [UFOP 2008] UFOP-Marktinformationen (Ausgabe Oktober 2008): Ölsaaten und Biokraftstoffe (http://www.ufop.de/downloads/RZ_MI_1008.pdf, abgerufen am 11.04.2012)
- [UFOP 2011] Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (2011): Biodiesel 2010/2011 – Sachstandsbericht und Perspektive – Auszug aus dem UFOP-Jahresbericht
- [UMSICHT 2012] Dresen, B. (02.07.2012): maximaler Silomaisanteil an der Ackerfläche auf Landkreisebene, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen
- [UMWELTDATENBANK 2013] quality-Datenbank Klaus Gebhardt e.K. (2013): Mineraldünger (<http://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/lexikon-m/722-mineralduenger.html>, abgerufen am 26.06.2013)
- [URBAN 2010] Urban, W. (Hrsg.) (2010): Gasnetze der Zukunft – Studie zu den Auswirkungen der Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz auf den Netzbetrieb und Endverbraucher (http://www.biogaspartner.de/fileadmin/biogas/Downloads/Artikel/Gasnetze_der_Zukunft_Mai2010.pdf, abgerufen am 20.06.2013)

- [UVPG 2010] Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 24.02.2010 (BGBl. I S. 94), geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 21.01.2013 (BGBl. I S. 95). <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/uvpg/gesamt.pdf> .
- [VDI 2009] Verein Deutscher Ingenieure (2009): Biosprit ist die „dritte tragende Säule emissionsarmer Mobilität“, VDI-Nachrichten
(http://www.vdinachrichten.com/vdinachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=43667&source=paging&cp=3, abgerufen am 20.10.2011)
- [VDLUFA 2012] VDLUFA (Verband deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten). 2012: Vorschlag des AK Nachhaltige Nährstoffhaushalte im VDLUFA zur Novellierung der Düngeverordnung (März 2012).
- [VINEXPO 2011] The International Wine and Spirit Research (2011): VINEXPO-Studie: Trends und Perspektiven des weltweiten Wein- und Spirituosenmarktes bis 2014
- [VNB 2012] Verteilnetzbetreiber (VNB) Rhein-Main-Neckar GmbH & Co. kg. VNB - Netzzugang - Lastprofile. [Online] [Zitat vom: 22. März 2012.] <http://www.vnb-rmn.de/index.php?uid=21#gas>.
- [VON BUTTLAR 2012a]
von Buttler C., Kräling B., Willms M. 13.06.2012: EVA II - Versuchsergebnisse am Standort Hessen 2011. IGLU (Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt) (Hrsg.): http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Themen/Oekologie/NawaRo/Ergebnisse/Ergebn_Hessen_2011.pdf
- [VON BUTTLAR 2012b]
von Buttler C., Kräling B., Willms M. 13.06.2012: EVA II - Versuchsergebnisse am Standort Niedersachsen 2011. IGLU (Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt) (Hrsg.): http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Themen/Oekologie/NawaRo/Ergebnisse/Ergebn_Nds_2011.pdf
- [VON BUTTLAR 2012c]
von Buttler C., Kräling B., Willms M. 13.06.2012: EVA II - Versuchsergebnisse am Standort Sachsen-Anhalt 2011. IGLU (Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt) (Hrsg.): http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Themen/Oekologie/NawaRo/Ergebnisse/Ergebn_Sachsen-Anhalt_2011.pdf

bund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Themen/Oekologie/
NawaRo/Ergebnisse/Ergebn_SNT_2011.pdf , 1-3.

- [VON BUTTLAR 2013] von Buttlar C. 2013: Aussagen zur Wasserschutzleistung im Energiepflanzenanbau aus den Fruchtfolgeversuchen in EVA I und II. <http://www.eva-verbund.de/themen/oekologie/NawaRo-anbau-nach-eg-wrrl/ergebnisse.html> letzter Zugriff: 8.2.2013.
- [VON CANSTEIN 2011] von Canstein, Harald: Die ökologische Bioerdgasanlage: Forderungen an die Technik und das Umfeld. Biogasplattform, Berlin, 13.04.2011.
- [WAGNER 2009] Wagner, P. (2009): Produktionsökonomik (Ökonomik der pflanzlichen und tierischen Produktion) – Entwicklung des Rapsanbaus in Deutschland, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre (<http://lb.landw.uni-halle.de/lehre/poe/>, abgerufen am 23.07.2012)
- [WDüngeV 2010] Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger (kurz: Verbringungsverordnung), die zuletzt am 09. September 2010 geändert worden ist, http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/wd_ngv/gesamt.pdf
- [WEIN 2011] Deutsches Weininstitut (2011): Statistiken zum deutschen Wein (<http://www.deutscheweine.de/icc/Internet-DE/med/dad/dad858bb-3953-3100-6c0c-f16f135e25d9,11111111-1111-1111-1111-111111111111.pdf>, abgerufen am 26.06.2012)
- [Wendland et al. 2010] Räumlich differenzierte Quantifizierung der N- und P-Einträge in Grundwasser und Oberflächengewässer in Nordrhein-Westfalen unter besonderer Berücksichtigung diffuser landwirtschaftlicher Quellen. - In: Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment, Band 88
- [WG BW 2005] Wassergesetz für Baden-Württemberg, zuletzt geändert Juli 2010, http://www.gaa.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16491/1_3_1.pdf
- [WHG 2008] Wasserhaushaltsgesetz, das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 67 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist, http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg_2009/gesamt.pdf
- [WICHMANN 2003] Wichmann K., Nuber T., Kiekbusch J. 2003: Numerische Modellierung des reaktiven Sulfattransportes. Nestler W., Grischek T. (Hrsg.): Handbuch Wasserversorgung und Sulfatbelastung des Grundwassers. 107-129. Karlsruhe, Bonn, Forschungszentrum Karlsruhe; BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung)

- [WISSENMEDIA 2013] wissenmedia in der inmediaONE] GmbH [Hg.] (2000-2013): Brache. Gütersloh, München <http://www.wissen.de/lexikon/brache>, (abgerufen am 05.06.2013)
- [WSGVO 2004] Verordnung zur Festsetzung des Wasserschutzgebietes Quoltitz auf der Insel Rügen vom Mai 2004, <http://www.landesrechtmv.de/jportal/portal/page/bsmvprod.psml?showdoccase=1&doc.id=jlr-QuoltWasSchGebVMVrahmen&st=lr>
- [WVZ 2011] Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V.: Zuckerverbrauch in einigen Ländern – in kg Weißzucker pro Kopf (<http://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/weltzuckermarkt/erzeugung-verbrauch.html>, abgerufen am 07.11.2012)
- [WVZ 2012a] Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V.: Rübenanbau und Zuckererzeugung (<http://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/zuckermarkt-deutschland/ruebenanbau-zuckererzeugung.html>, abgerufen am 11.04.2012)
- [WVZ 2012b] Wirtschaftliche Vereinigung Zucker, Verein der Zuckerindustrie (2012): Rübenschntzel (<http://www.zuckerverbaende.de/zuckermarkt/zahlen-und-fakten/zuckermarkt-deutschland/schnitzel.html>, abgerufen am 11.04.2012)
- [WWF 2008]. Nitratstudie WWF: Gewässerschutz und Landwirtschaft: Widerspruch oder lösbares Problem? WWF-Deutschland, Mai 2008, http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/WWF_nitratstudie.pdf
- [ZALF 2013] ZALF (Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung), INL (Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung), IGLU (Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt). 2013: Ökologische Begleitforschung – EVA-Teilprojekt 2. <http://www.eva-verbund.de/struktur/oekologische-bewertung.html> 5.2.2013.
- [ZELLER 2011] Zeller, V.; Weiser, C.; Henneberg, K.; Reinicke, F.; Schaubach, K.; Thrän, D.; Vetter, A.; Wagner, B. (2011): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung. Leipzig

Anhang

Überblick

- Checkliste für die Landwirtschaft zum Anbau von Energiepflanzen und das Gärproduktmanagement
- Kulturspezifische Vorgaben für den gewässerschützenden Anbau
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von tierischen Exkrementen in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Mais in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030, Szenario: AKTUELL
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Mais in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030, Szenario: NACHHALTIG
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Dauergrünland in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Raps- und Getreidestroh in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Kartoffel- und Rübenblatt in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von landwirtschaftlichen Substraten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Biotonne in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Grünschnitt in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Restmüll für in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Speiseresten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Supermarktresten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an Autobahn in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an sonstigen Straßen in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von kommunalen Substraten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030

- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Biertreber in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Weintrester in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Schlachtresten in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Molke in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Rübenschnitzel und Melasse in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Kartoffelschalen in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Rohglycerin in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Schlempe in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von Rapspresskuchen in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von industriellen Substraten in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030
- Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial von industriellen Substraten in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030

Anlage A1

Checkliste für die Landwirtschaft zum Anbau von Energiepflanzen und das Gärproduktmanagement

Vorbemerkungen

Die nach EU-Wasserrahmenrichtlinie bzgl. Nitrat festgelegten gefährdeten Grundwasserkörper nehmen deutschlandweit eine Gesamtfläche von 9,3 Mio. ha ein; davon sind 4,2 Mio. ha Ackerflächen (ca. 32 % der bundesweiten Ackerflächen) betroffen. In den meisten Fällen ist die erhöhte Nitratbelastung des Grundwassers vor allem auf die langjährige intensive landwirtschaftliche Nutzung in den jeweiligen Einzugsgebieten zurückzuführen.

Diese Problematik wird in den letzten Jahren in vielen Regionen durch den zusätzlichen deutlichen Zubau von Biogasanlagen verschärft, wenn vermehrt Gärprodukte zur Düngung der Pflanzenbestände eingesetzt werden und sich Nährstoffflüsse in den Ausbringungsregionen verändern. Insbesondere infolge von Ertragsdepressionen, bei nicht pflanzenbedarfsgerechter Düngung der angebauten Kulturpflanzen oder auch bei Ausschöpfung der laut Düngeverordnung maximal zulässigen Ausbringungsmengen organischer Nährstoffträger können am Ende der Vegetationszeit erhöhte Nitratstickstoffgehalte im Boden vorliegen, die während der Grundwasserneubildung über den Herbst-Winterzeitraum in tiefere Schichten verlagert werden und letztlich zu erhöhten Nitratgehalten im Grundwasser führen können.

Bei Gärprodukten, die aus der Fermentation von Abfällen entstanden sind, können darüber hinaus Schadstoffe (Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, Weichmacher, Arzneimittelwirkstoffe, etc.) enthalten sein und mikrobiologische Belastungen vorliegen, die einer uneingeschränkten Verwertung in der Landwirtschaft aus Vorsorgegründen entgegen stehen. Daher sind alle Anstrengungen zu unternehmen, um Schadstoffeinträge in die Gewässer möglichst zu verhindern oder zumindest - soweit möglich - zu minimieren.

Beim Anbau von Energiepflanzen in Wassereinzugsgebieten und der landwirtschaftlichen Verwertung von Gärrückständen sind daher Regelungen notwendig, damit es zu keiner Erhöhung von ungenutzten Nährstoffen, von Schwermetallen und anderen Schadstoffen auf der Fläche oder Anreicherung im Boden und zu Einträgen in die Gewässer kommt, die eine Verschlechterung der Rohwasserbeschaffenheit zur Folge haben können.

Der Anbau von Energiepflanzen zur Biogasgewinnung darf keine Gefährdung für das Grund- und Oberflächenwasser bewirken.

Die Checkliste wurde erstellt auf Basis der „Leitlinien für den gewässerschützenden Anbau von Energiepflanzen und die landwirtschaftliche Verwertung von Gärrückständen in Wassereinzugsgebieten“ [KIEFER & BALL 2008] sowie der DVGW-Information Wasser Nr. 73 „Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes“ [DVGW 2010a] sowie verschiedener weiterer Informationen.

Die nachfolgende Checkliste soll der genehmigenden und kontrollierenden Behörde als Hilfe für den Umgang mit Gärprodukten in sensiblen Gebieten dienen, den

Gewässer schützenden Anbau von Energiepflanzen befördern bzw. die Ausbringung von Gärprodukten im Sinne des Gewässerschutzes regeln und den Behörden Hilfestellungen für die Genehmigung von Biogasanlagen geben. Eine Anwendungsmöglichkeit wäre z. B., die genannten Anforderungen als Auflagen in einen Pachtvertrag zwischen Wasserversorger als Verpächter und Landwirt aufzunehmen (Betrifft insbesondere die Anlagen „Kulturspezifische Vorgaben für den gewässerschützenden Anbau“). Die hier formulierten Anforderungen gehen i.d.R. über die geltenden Regelungen hinaus und sind erstellt worden, um einen Gewässer schützenden Energiepflanzenanbau zu unterstützen. Es handelt sich hierbei um eine bundesweite Liste, wobei länderspezifische Unterschiede, die z.B. hinsichtlich der Anbaugewohnheiten oder hinsichtlich Art und Umfang von Tierhaltungen oder bzgl. gesetzlicher Regelungen bestehen, nicht berücksichtigt wurden. Ggf. sind daher länderspezifische Anpassungen erforderlich. Für diese Fälle ist die Liste als „Basiszusammenstellung“ zu verstehen, die ggf. entsprechende Hinweise und Anregungen für eine länderspezifische Liste geben soll.

Mit Ausnahme der Angaben zur Lage der Betriebsflächen, die Basis für die Beantwortung der nachfolgenden Fragen ist, sollte es Ziel sein, alle anderen Fragen mit „Ja“ zu beantworten.

Nr.	Allgemeine Vorgaben	Ja/Nein	Bemerkungen
1	Wird der <i>Umbruch von fakultativem Grünland</i> , mehrjährigen Stilllegungsflächen und Brachen zum Anbau von Energiepflanzen vermieden?		
2	Werden die Leitlinien für eine gewässerschützende Landbewirtschaftung nach DVGW-Arbeitsblatt W104 ²¹ beim Anbau von Energiepflanzen berücksichtigt ?		
3	Wird beim Anbau von Energiepflanzen durch spezielle Fruchtfolgen eine ganzjährige Bodenbedeckung sichergestellt?		
4	Wird der chemische <i>Pflanzenschutz</i> auf das notwendige Maß zur Vermeidung von Schadstoffanreicherungen im Boden und zur Minimierung von diffusen Schadstoffeinträgen in die Gewässer beschränkt ?		
5	Erfolgt eine Einsatzminimierung oder Verzicht auf bekanntermaßen gewässerrelevante <i>Pflanzenschutzmittel</i> ? (s. Anlagen <i>Kulturspezifische Vorgaben für den gewässerschützenden Anbau</i>)		
6	Wird bei einer Ausbringung beachtet, dass die Aus-		

²¹) DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.) 2004: W104 - Grundsätze und Maßnahmen einer gewässerschützenden Landbewirtschaftung. DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.) (Hrsg.): Arbeitsblatt W 104, Technische Regel Ausg. 10/2004. ISSN 0176-3504. Bonn, WVGW-Verlag.

Nr.	Allgemeine Vorgaben	Ja/Nein	Bemerkungen
	<i>bringung nach guter fachlicher Praxis</i> (pflanzenbedarfs- und standortgerecht) erfolgt und damit die Vorschriften der Anwendung stickstoffhaltiger organischer Dünger sowie die Grundsätze der Düngbedarfsermittlung beachtet werden?		
7			
8	<i>Lage der Betriebsflächen</i>		
9	Liegen Betriebsflächen innerhalb eines Wasserschutzgebietes, <i>Schutzzone II</i> ?		s. lfd. Nr. 40, WSG-VO
10	Liegen Betriebsflächen innerhalb der Schutzzone II eines <i>Talsperrenschutzgebietes</i> ?		s. lfd. Nr. 41, WSG-VO
11	Liegen Betriebsflächen innerhalb eines Wasserschutzgebietes, <i>Schutzzone III oder IIIA</i> ?		s. lfd. Nr.43, WSG-VO
12	Liegen Betriebsflächen innerhalb eines Wasserschutzgebietes, <i>Schutzzone IIIB</i> ?		s. lfd. Nr.43, WSG-VO
13	Liegen Betriebsflächen in unmittelbarer Nähe zu einem Oberflächengewässer (< 10 m zur Böschungsoberkante des Flusses oder Baches = Gewässerrandstreifen)		
14	Befinden sich auf den Betriebsflächen <i>Drainagen</i>		Wohin entwässern diese?
15	Liegen Betriebsflächen in einem ausgewiesenen <i>Überschwemmungsgebiet</i> oder innerhalb von <i>Voranggebieten</i> für Trinkwasser / <i>Vorbehaltsgebiete</i> für den Grundwasserschutz, innerhalb eines nach EU-Wasserrahmenrichtlinie hinsichtlich Nitrat als <i>gefährdet eingestuft</i> Grundwasserkörpers oder innerhalb sonstiger wasserwirtschaftlich sensibler Bereiche (<i>Karst, flachgründige Böden</i>)		Vorgaben / Auflagen anlog zu Schutzzone IIIB
16			
17	<i>Anforderungen Anbau, Düngung</i>		
18	Erfolgt eine <i>Erweiterung</i> bzw. der <i>Erhalt mehrgliedriger Fruchtfolgen</i> : Mais auf max. 40% der Anbaufläche, mit vorgeschaltetem Zwischenfruchtanbau max. 50% (s. Anlage: „Kulturspezifische Vorgaben für den gewässerschützenden Anbau“)		
19	Werden die in den Anlagen „Kulturspezifische Vorgaben für den gewässerschützenden Anbau“ aufgeführten kulturspezifischen <i>Bewirtschaftungsauflagen</i> für die Energiepflanzen Mais, Raps, Getreide und Gras eingehalten?		

Nr.	Allgemeine Vorgaben	Ja/Nein	Bemerkungen
20	Werden spezielle <i>Verträge</i> über den "gewässer-schützenden Anbau, Lieferung und Abnahme von Pflanzen zur Verwendung in Biogasanlagen" zwischen den Anlagenbetreibern und den Landwirten abgeschlossen?		insbes. beim Anbau von Energiepflanzen innerhalb von WSG & WEG
21	Werden die <i>Nährstoffgehalte (N, P, K)</i> der Gärrückstände bei der Düngung berücksichtigt (gesamte Stickstoffmenge des Gärproduktes, incl. Stickstoffanteil aus pflanzl. Herkunft)? Hier ist insbesondere auch zu berücksichtigen, dass die Düngewirkung i. d. R. über mehrere Jahre reicht (Nachlieferung).		
22	Wird bei der <i>Berechnung des Düngedarfs</i> der voraussichtlich pflanzenverfügbare N-Anteil des Düngers (Gärprodukt) berücksichtigt?		
23	Wird auf N-Düngung zur Strohrotte und nach der Ernte der Hauptfrucht bis Januar des Folgejahres verzichtet (Ausnahme: Herbstkulturen mit entsprechendem N-Bedarf: Feldgras, Raps, Zwischenfrüchte zur Futternutzung)?		
24	Wird die N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat unter Beachtung der langjährigen organischen Düngung und der Ernte der Zwischenfruchtrückstände bei der Düngplanung angemessen unter Zugrundelegung realistischer (standortgerechter) N-Entzüge der Anbaukulturen berücksichtigt?		
25	Wird die N-Düngung am standörtlichen Ertragspotenzial ausgerichtet?		
26	Hat sich der Betrieb verpflichtet, einen <i>Stickstoffbilanzüberschuss</i> von 40 kg N/(ha x a) im Dreijahresmittel nicht zu überschreiten (Hoftor- oder Einzelschlagbilanz). Entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W104? Anm.: Bei geringer Grundwasserneubildung sind geringere Werte für den Stickstoffbilanzüberschuss erforderlich (Arbeitsblatt W104 wird derzeit überarbeitet)		In Anlehnung an überarbeitetes W 104
27	Wird die <i>organische Düngung außerhalb von Wasserschutz- bzw. Wassereinzugsgebieten</i> und aus Sicht des Gewässerschutzes empfindlichen Gebieten auf eine Stickstoff-Ausbringungsmenge von max. 170 kg N/ha unter Einbeziehung des Gärproduktes begrenzt (gesamte Stickstoffmenge des Gärproduktes, incl. Stickstoffanteil aus pflanzl. Herkunft)? Anm.: Diese Begrenzung soll zudem für den einzelnen Schlag und nicht nur für den Betriebsdurch-		

Nr.	Allgemeine Vorgaben	Ja/Nein	Bemerkungen
	schnitt gelten.		
28	<p>Wird die <i>organische Düngung</i> insgesamt <i>innerhalb von Wasserschutz- bzw. Wassereinzugsgebieten</i> und aus Sicht des Gewässerschutzes empfindlichen Gebieten auf eine Stickstoff-Ausbringungsmenge von max. 160 kg Gesamt N/ha (brutto einschl. Lagerungs- und Ausbringungsverluste) bzw. netto max. 120 kg/ha unter Einbeziehung des Gärproduktes begrenzt (gesamte Stickstoffmenge des Gärproduktes, incl. Stickstoffanteil pflanzl. Herkunft)?</p> <p>Anm.: Diese Begrenzung soll zudem für den einzelnen Schlag und nicht nur für den Betriebsdurchschnitt gelten.</p>		
29	Wird eine <i>Hoftor-Bilanz</i> mit Feststellung und ohne Abzug der (gewässerrelevanten) Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste (max. Überschuss Betrieb/Schlag: 40 kg N/ha/a) durchgeführt?		
30	Beinhaltet die <i>Hoftor-Bilanz</i> eine Schlagkartei- und –bilanzführungspflicht (Betriebsbilanzerstellung durch Aggregieren der Schlagbilanzen); Plausibilitätsprüfung durch Ergebnisvergleich Hoftor-Bilanz und aggregierte Schlagbilanzen		
31			
32	<i>Anforderungen Gärproduktausbringung / Gärproduktverwertung / Untersuchungen</i>		
33	Wird die landbauliche <i>Verwertung der Gärrückstände</i> entsprechend der Düngeverordnung nachvollziehbar dokumentiert ?		
34	Wird die <i>Verwertung der Gärrückstände</i> von den zuständigen Behörden kontrolliert und erfolgt eine Querinformation an die Wasserbehörden (Mengen, Art der Gärprodukte, Ausbringflächen)?		letztes Datum der Kontrolle angeben
35	Wird ein regionaler Kreislauf umgesetzt, d.h., werden die Rohstoffe (Gärsubstrate) regional beschafft und die Gärprodukte regional verwertet?		
36	Wird bei der <i>Ausbringung</i> der Gärprodukte eine <i>emissionsmindernde</i> Technik angewendet?		
37	Wird bei der <i>Ausbringung</i> der Gärprodukte soweit möglich eine unverzügliche Einarbeitung vorgenommen?		
38	Erfolgt eine <i>Gärproduktausbringung</i> nur zwischen dem 01.03. und dem 15.09.?		

Nr.	Allgemeine Vorgaben	Ja/Nein	Bemerkungen
39	Wird bei der <i>Gärproduktausbringung</i> zu Oberflächengewässern ein Abstand von 10 m eingehalten?		
40	Erfolgt <i>keine Ausbringung</i> von Gärprodukten in der <i>Schutzzone II</i> ausgewiesener oder geplanter Wasserschutzgebiete oder innerhalb der 50-Tage-Linie von Grundwassergewinnungsanlagen		
41	Zutreffend nur, falls eine Ausbringung von Gärprodukten in ausgewiesenen oder geplanten Schutzgebieten für Talsperren mit Trinkwassergewinnung (nach Einzelfallprüfung) erfolgt Erfolgte eine standortspezifische Bedarfs- und Gefährdungsanalyse (Einzelfallprüfung) und Erstellung eines jährlich fortzuschreibenden Qualifizierten Flächennachweises? Wird auf eine Ausbringung verzichtet, wenn die Flächen in Abhängigkeit von Hangneigung und Hanglänge erosions-/abschwemmungsgefährdet sind?		
42	Wird an einer <i>Güte-/Qualitätssicherung</i> für Gärrückstände teilgenommen? Anm.: Dabei wird eine ordnungsgemäße Deklaration unter Angabe von Herkunft, Art und Menge der verwendeten Energiepflanzen, Wirtschaftsdünger und Ko-Fermentationssubstrate sowie Nährstoff- und Schadstoffgehalte (Schwermetallgehalte und der organischen Schadstoffe) sowie ein Nachweis der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit gemäß BioAbfV eingefordert. Bei der Anwendung von Gärprodukten aus Ko-Fermentationssubstraten ist grundsätzlich der Nachweis einer Güte-/Qualitätssicherung zu erbringen und durch Prüfdokumente zu belegen. Unter Ko-Fermentationssubstraten werden Bioabfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs gemäß Anhang 1 der BioAbfV verstanden.		
43	Wird das <i>Ausbringungsverbot</i> für Gärprodukte aus Ko-Fermentationssubstraten (Biotonneninhalte, Küchen- und Kantinenabfälle sowie Fettabscheiderinhalte aus dem Lebensmittelbereich) ohne chargenbezogenes Gütesiegel (für den Einsatz in WSZ III geeignet“ – BGK/DVGW 2012) in Wasserschutzgebieten und aus Sicht des Gewässerschutzes empfindlichen Gebieten eingehalten?		
44	Erfolgen <i>Grundnährstoffuntersuchungen</i> der Böden mit Gärproduktausbringung alle drei Jahre?		
45	Liegen zeitnahe <i>Untersuchungsergebnisse</i> zu den Nährstoffgehalten vor, um so eine bedarfsgerechte Anwendung umsetzen zu können (für Düngepla-		

Nr.	Allgemeine Vorgaben	Ja/Nein	Bemerkungen
	nung und Bilanzerstellung obligatorische Nährstoffanalysen organischer Nährstoffträger mind. 1x jährlich, sonst nach jeder Änderung Tierfütterung, -haltung, Fermenterbeschickung) ?		
46	Ist die <i>Unbedenklichkeit</i> in Bezug auf Human- und Tierpharmaka, Antibiotika, Industriechemikalien mit endokrinem Wirkungspotenzial und weitere Schad- und organische Spurenstoffe sicher gegeben? Anm.: Falls hier Unsicherheiten bestehen, bzw. eine Belastung zu vermuten ist, ist die <i>landwirtschaftliche Verwertung auszuschließen</i> .		
47	Wird Lagerraum für Gärprodukte für mindestens 9 Monate vorgehalten?		
48	Wurde ein qualifizierter Flächennachweis (incl. Dokumentation der Stoffströme) erstellt und jährlich fortgeschrieben? (Flächennachweis, Pachtverträge, Abnahmeverträge für organischen Dünger, Dünge-niveau der vorgesehenen Flächen)		

Anlage A2

Kulturspezifische Vorgaben für den gewässerschützenden Anbau

1.1 Mais (Energimais)

Energimais ist mit einem Anteil von ca. 90% das mengenmäßig am häufigsten eingesetzte Substrat in Biogasanlagen. Dies ist neben der hohen Methanausbeute auch auf die meist vorhandene Gerätetechnik zurückzuführen

Problematik:

- hoher Düngebedarf, Gefahr hoher Nitratstickstoffreste im Boden (insbesondere bei Ertragsdepressionen z.B. infolge sehr trockener Jahre oder bei Krankheitsbefall)
- erhöhte Belastungen von Boden und Gewässern mit Stickstoff und Phosphor
- intensive Pflanzenschutzmaßnahmen erforderlich

Bei der Umfrage im Rahmen der DVGW-Studie W1/02/05 bei dt. Wasserversorgern (Veröffentlichungen aus dem TZW 2007, Band 31) findet sich unter den zurzeit zugelassenen Wirkstoffen im Grund- und Oberflächenwasser (n = 919, davon GW: 595, Oberfl.gew. 287):

- o Terbutylazin (Maisanbau) an fünfter Stelle
- o Bentazon (Getreide, Mais, Sojabohne, Erbse etc.) an dritter Stelle.
- o S-Metolachlor an achter Stelle (Mais, Rüben)
- o Glyphosat (Mais und Raps etc.) an neunter Stelle
- Erosion (insbesondere im Frühstadium infolge des geringen Bedeckungsgrades)
- Humusabbau der Böden z. B. durch zu hohen Maisanteil in der Fruchtfolge

Vorgaben:

Düngung:

- Düngeberechnung auf Basis von aktuellen schlagbezogenen Messwerten auf mind. 30 % der Flächen. Bei Bewirtschaftungseinheiten, die räumlich nicht zusammenhängen und gleiche Standorteigenschaften und gleiche Bewirtschaftungsverhältnisse aufweisen, können Messergebnisse auf Standorte ohne Messergebnisse übertragen werden.
- Begrenzung der mineralischen Düngung auf max. 120 kg N/ha (Ausnahmen sind bei Nachweis eines deutlich höheren Pflanzenbedarfs möglich)
- Begrenzung der organischen Düngung auf max. 160 kg Gesamt N/ ha (brutto einschl. Lagerungs- und Ausbringungsverluste) bzw. netto 120 kg N/ha

Energiemais-Flächenanteil / Maisanteil in der Fruchtfolge:

- Mais auf max. 40% der Anbaufläche, wenn er ohne vorgeschalteten Zwischenfruchtanbau/ Begrünung (Zwischenfrüchte, Untersaaten, Zweikulturnutzungssysteme) angebaut wird.
- Bei Mais mit Begrünung (Untersaaten, vorgeschaltetem Zwischenfruchtanbau bei früher Ernte (s.u.), Zweikulturnutzungssysteme) darf Mais auf max. 50% der Vertragsfläche angebaut werden.
- Kein Anbau von Winterweizen nach Mais.
- Bei nachfolgender Brache keine tiefe Bodenbearbeitung im Herbst, eine flache Bodenbearbeitung ist gestattet.
- Vor Mais möglichst Anbau von Zwischenfrüchten. Umbruch der Zwischenfrucht erst im Frühjahr unmittelbar vor dem Anbau der Folgefrucht
- Auf erosionsgefährdeten Standorten sind die Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenerosion entsprechend den Abschnitten 4.2 und 5.2.2 (W104) zu beachten.

Untersaaten / Zwischenfrüchte:

- Untersaaten sofern klimatisch günstige Lage, bzw. ausreichend Niederschläge
- Nach Energiemais bei früher Ernte (vor 15.09.) sofortige Begrünung (Zwischenfruchtanbau), sofern keine Untersaaten vorhanden sind und ausreichend Bodenfeuchtigkeit vorliegt bzw. zu erwarten ist. Einsaat der Zwischenfrucht durch konservierende Bodenbearbeitungsverfahren (Mulchsaatverfahren)
- Verzicht auf Stickstoffdüngung der Zwischenfrüchte. Ausnahme: Bei Nitratstickstoffgehalten unter 30 kg N/ha nach der Ernte (vgl. Abschnitt 5.1.1.1, W104). Bei Nachweis durch eine Bodenuntersuchung ist eine Düngung von max. 50 kg Gesamt-N/ha organisch oder 40 kg N/ha mineralisch bis spätestens 15.09. möglich.
- Die Zwischenfrüchte sollen ebenfalls in der Biogasanlage verwertet werden, andernfalls darf der Umbruch erst unmittelbar vor dem Anbau der Folgefrucht erfolgen (Ausnahmen entsprechend W 104, Abschnitt 5.1.1.1 möglich)
- Angemessene Nährstoffanrechnung der Nachlieferung aus Zwischenfrüchten und organischer Düngung bei der Düngung der Folgefrucht

Pflanzenschutzmittelanwendung:

- keine Anwendung terbutylazinhaltiger PSM in Wassereinzugsgebieten
- keine Anwendung bentazonhaltiger PSM in Wassereinzugsgebieten
- Ausnahmeregelungen im Rahmen eines Wirkstoffmanagements (Mengensteuerung zur Risikominimierung hins. Gewässerschutz und Resistenzproblematik bei Wildkräutern)

1.2. Raps

Raps ist mit einem Anteil von ca. 43% (ca. 0,91 Mio ha.) der gesamten Energiepflanzenanbaufläche im Jahr 2012 der mengenmäßig am zweithäufigsten eingesetzte nachwachsende Rohstoff in Deutschland und wird als Ausgangsstoff zur Herstellung von Pflanzenölen und insbesondere von Biodiesel genutzt. Andere Pflanzenöle zur Herstellung von Biodiesel können in Deutschland demgegenüber vernachlässigt werden.

Problematik:

- Flächen mit Raps als Hauptfrucht weisen oft hohe Nitratstickstoff-Restgehalte im Boden bei Herbstkontrollen auf, infolge Mineralisierung der stickstoffreichen Erntesterne (Spross- und Wurzelmasse mit hohen N-Gehalten) nach der Einarbeitung
- intensive Pflanzenschutzmaßnahmen erforderlich
 - o Der für Raps zugelassene Wirkstoff Metazachlor lag auf Rang 7 der aktuell zugelassenen Wirkstoffe, die in den Gewässern gefunden wurden (DVGW-Studie W1/02/05).
 - o Glyphosat (Mais und Raps etc.) an neunter Stelle

Vorgaben:

- Düngeberechnung auf Basis von aktuellen schlagbezogenen Messwerten auf mind. 30 % der Flächen. Bei Bewirtschaftungseinheiten, die räumlich nicht zusammenhängen und gleiche Standorteigenschaften und gleiche Bewirtschaftungsverhältnisse aufweisen, können Messergebnisse auf Standorte ohne Messergebnisse übertragen werden.
- Keine Düngung der Folgenutzung nach Raps im Herbst (Zwischenfrüchte, Winterungen)
- Nach der Rapsernte für den Fall des Anbaus einer Sommerung: Sofortiger Zwischenfruchtanbau ohne Düngung, bei nachfolgender Sommerung möglichst winterhart. Ausfallraps zählt als Begrünung, sofern eine ausreichend geschlossene Pflanzendecke erreicht wird (4 Wochen nach der Ernte abzuschätzen). Bei nicht ausreichend geschlossener Pflanzendecke ist eine Zwischenfruchtaussaat vorzunehmen. Konservierende Bodenbearbeitungsverfahren zur Einsaat der Sommerung. Bei Ausfallraps frühester Bearbeitungszeitraum unmittelbar im Zusammenhang mit der Saat der Folgenutzung (max. 14 Tage vorher), d.h. keine Rapsstoppelbearbeitung bis zur Einsaat der Folgenutzung.
- Die Zwischenfrüchte (möglichst winterhart) sollen ebenfalls in der Biogasanlage verwertet werden, andernfalls darf der Umbruch erst unmittelbar vor dem Anbau der Folgefrucht erfolgen
- Anbau von Winterweizen nach Raps: Bei Ausfallraps frühester Bearbeitungszeitraum unmittelbar im Zusammenhang mit der Saat der Folgenutzung (max. 14 Tage vorher), d.h. keine Rapsstoppelbearbeitung bis zur Einsaat der Folgenutzung.

- Bei Abfuhr der Erntereste (statt Einarbeitung) und Abfuhr der Zwischenfrüchte keine Auflagen bzgl. Winterungen
- Bei früher Ernte von Winterraps zur Biogaserzeugung sofortiger Anbau einer Folgefrucht (Zweikulturnutzung, z. B. Sudangras, Ackergras, Sonnenblumen,)

Pflanzenschutzmittelanwendung:

- keine Anwendung metazachlorhaltiger PSM in Wassereinzugsgebieten
- Ausnahmeregelungen im Rahmen eines Wirkstoffmanagements (Mengensteuerung zur Risikominimierung hins. Gewässerschutz und Resistenzproblematik bei Wildkräutern)

1.3. Grünland / Grassilage

Vorbemerkungen/Problematik:

- Hohe Nitratstickstoffgehalte treten bei Grünland i. d. R. nur bei überhöhten Wirtschaftsdüngergaben oder auf Anmoor-/Moorböden auf.
- Die Verwendung von Grünschnitt aus Landschaftspflegemaßnahmen und Naturschutzflächen gewinnt zunehmend an Bedeutung
- Gasförmige Stickstoffverluste sind bei der Düngung mit Biogasgülle, im Folgenden als Gärprodukte, bezeichnet, auf Grünland nicht völlig zu vermeiden. Am größten sind die Verluste unmittelbar nach der Ausbringung.

Vorgaben:

- Düngeberechnung auf Basis von aktuellen schlagbezogenen Messwerten auf Anmoor- und Moorböden sowie auf Flächen mit langjähriger organischer Düngung auf mind. 30 % der Flächen. Bei Bewirtschaftungseinheiten, die räumlich nicht zusammenhängen und gleiche Standorteigenschaften und gleiche Bewirtschaftungsverhältnisse aufweisen, können Messergebnisse auf Standorte ohne Messergebnisse übertragen werden.
- Die quantitative Ausbringung der Gärrückstände ist an die vom Standort vorgegebene Intensität der Nutzung anzupassen. Dabei ist die Anzahl der Nutzungen/Schnitte, die von verschiedenen Faktoren abhängig ist (z.B. Höhenlage, Schattenhanglage, Bodenart, Niederschlagsmengen und -verteilung) zu beachten.
- Auf Grünland sollten die Gärprodukte nur bei bedecktem Himmel bodennah und großtropfig ausgebracht werden; bei hohen Feststoffanteilen ist eine vorherige Separation zweckmäßig

1.4. Getreide

Vorbemerkungen/Problematik:

- Bei Weizenanbau zur Ethanolherstellung sind keine hohen Eiweißgehalte wie bei der Qualitätsweizenerzeugung erforderlich. Daher kann auf die Qualitätsdüngung verzichtet werden und es sind eher niedrigere Nitratstickstoffgehalte zum Erntetermin zu erwarten als bei herkömmlichem Getreideanbau. Ähnliches gilt für Getreide, das als GPS genutzt wird. Daher ist bei der Erzeugung der geringere N-Bedarf zu berücksichtigen.
- PSM, die im Getreideanbau angewendet werden, finden sich auch unter den Top 20 der zurzeit zugelassenen Wirkstoffe im Grund- und Oberflächenwasser (DVGW-Studie W1/02/05):
 - o Isoproturon (Getreide) lag auf Rang zwei der aktuell zugelassenen Wirkstoffe, die in den Gewässern gefunden wurden.
 - o Bentazon (Getreide, Mais, Sojabohne, Erbse etc.) an dritter Stelle
 - o Mecoprop-P (MCP; Getreide, Rasen, Gräser) an vierter Stelle
 - o MCPA (Getreide, Grünland, Gräser, Hopfen, Obstbau etc.) an 6. Stelle
 - o Dichlorprop (2,4-DP; Getreide, Gräser) an neunter Stelle

Vorgaben:

- Bei Weizenanbau für nachwachsende Rohstoffe ist der gegenüber der Qualitätsweizenerzeugung niedrigere N-Bedarf zu berücksichtigen (Wegfall der Spät- / Qualitätsdüngung)
- Auf jeder Bewirtschaftungseinheit muss unter Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse baldmöglichst nach der Hauptfruchternte eine Begrünung ausgesät werden, wenn im gleichen Jahr keine Folgekultur mehr angebaut wird. Die Aussaat einer Begrünung hat bis spätestens 1.9. zu erfolgen.
- Die Zwischenfrüchte (möglichst winterhart) sollen ebenfalls in der Biogasanlage verwertet werden, andernfalls darf der Umbruch erst unmittelbar vor dem Anbau der Folgefrucht erfolgen
- Verzicht auf Stickstoffdüngung der Zwischenfrüchte. Ausnahme: Bei Nitratstickstoffgehalten unter 30 kg N/ha nach der Ernte (vgl. Abschnitt 5.1.1.1, W104). Bei Nachweis durch eine Bodenuntersuchung ist eine Düngung von max. 50 kg Gesamt-N/ha organisch oder 40 kg N/ha mineralisch bis spätestens 15.09. möglich.

Pflanzenschutzmittelanwendung:

- keine Anwendung isoproturonhaltiger PSM in Wassereinzugsgebieten
- keine Anwendung bentazonhaltiger PSM in Wassereinzugsgebieten
- keine Anwendung Mecoprop-P (MCP)-haltiger PSM in Wassereinzugsgeb.
- Ausnahmeregelungen im Rahmen eines Wirkstoffmanagements (Mengensteuerung zur Risikominimierung hins. Gewässerschutz und Resistenzproblematik bei Wildkräutern)

Anlage B

substratspezifische Biomethanierungspotenziale für die Jahre 2015, 2020, 2030 in den Abstufungen theoretisch, technisch, wirtschaftlich

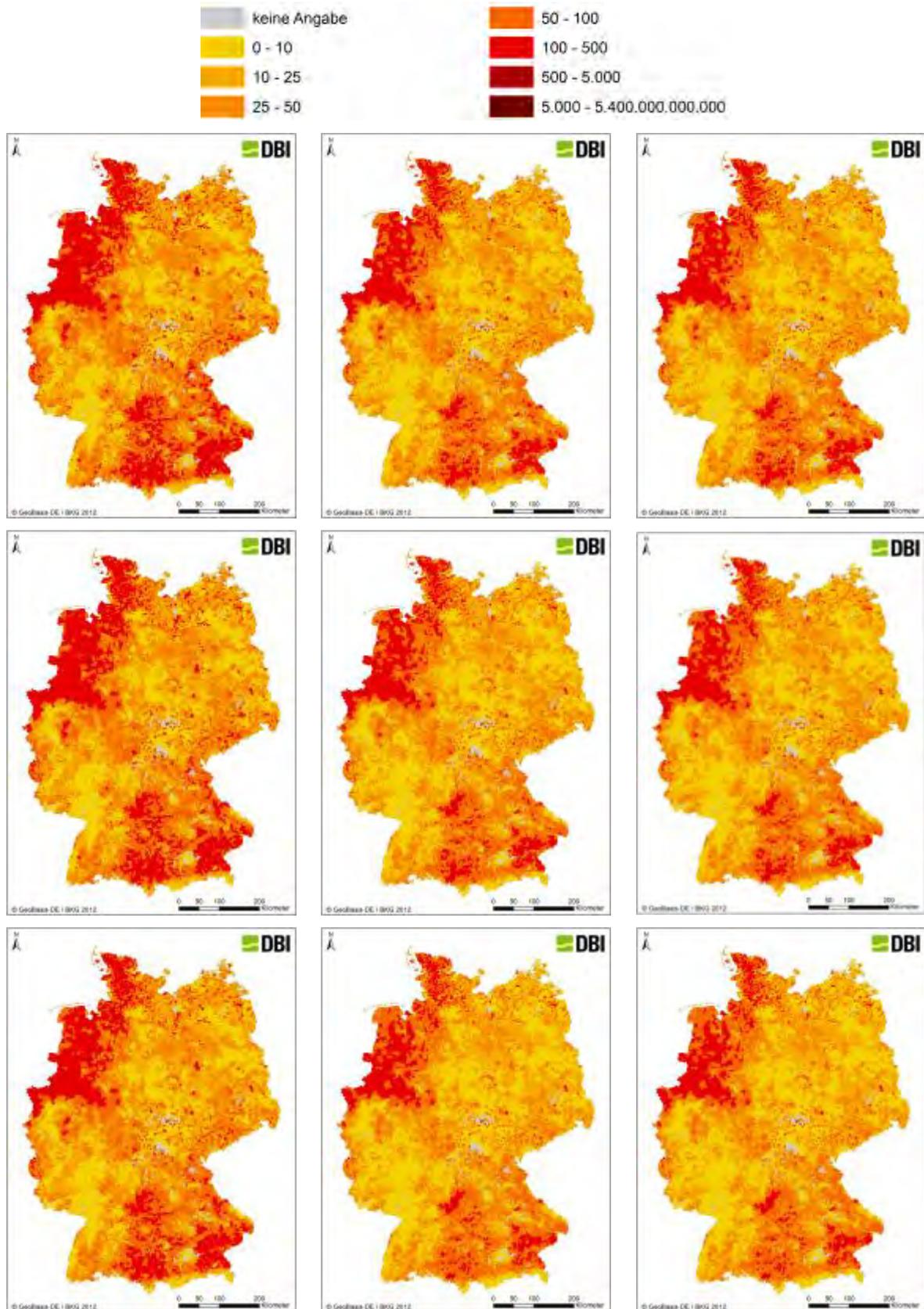


Abbildung 173: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von tierischen Exkrementen in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

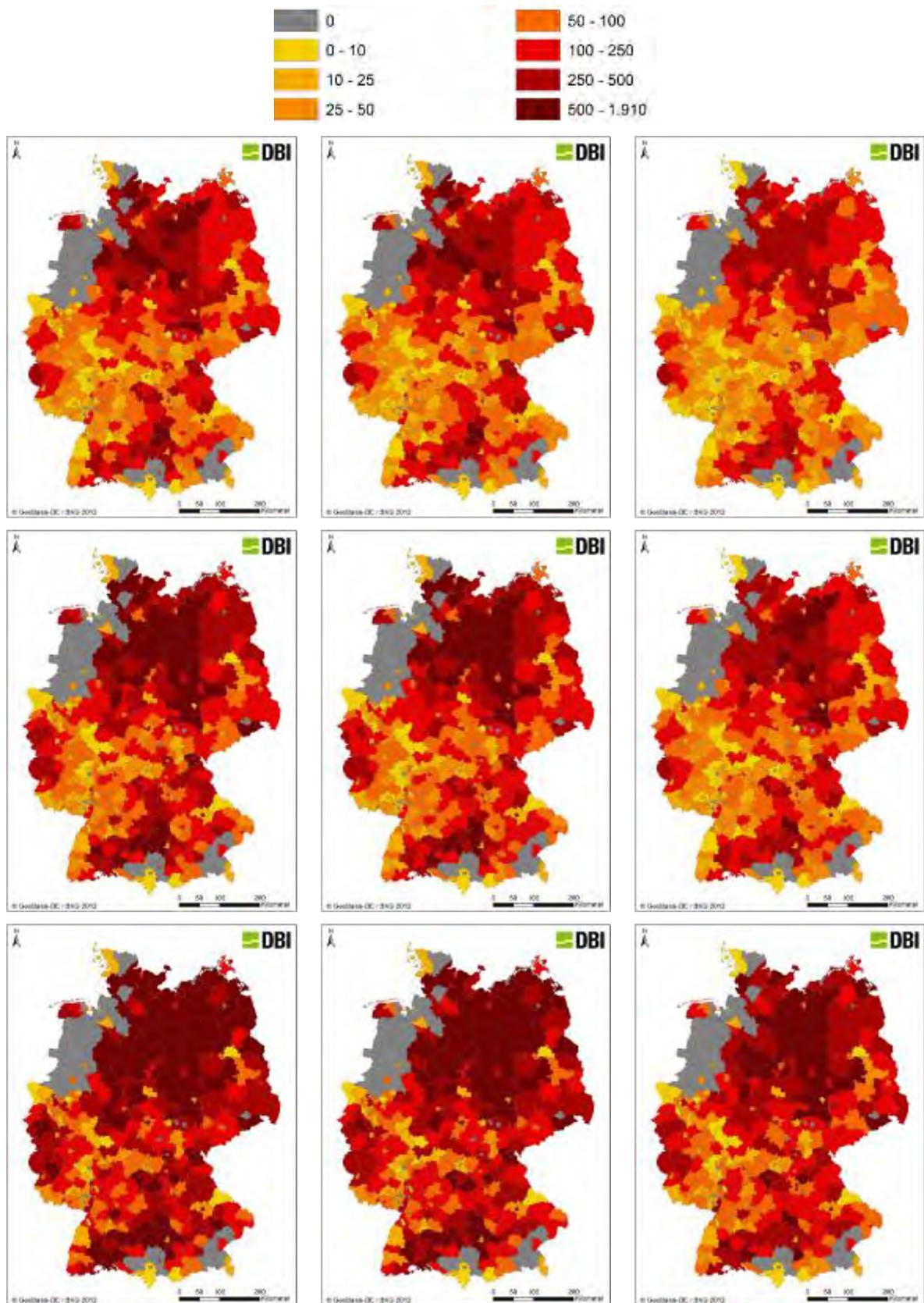


Abbildung 174: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Mais in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten), Szenario „business as usual“

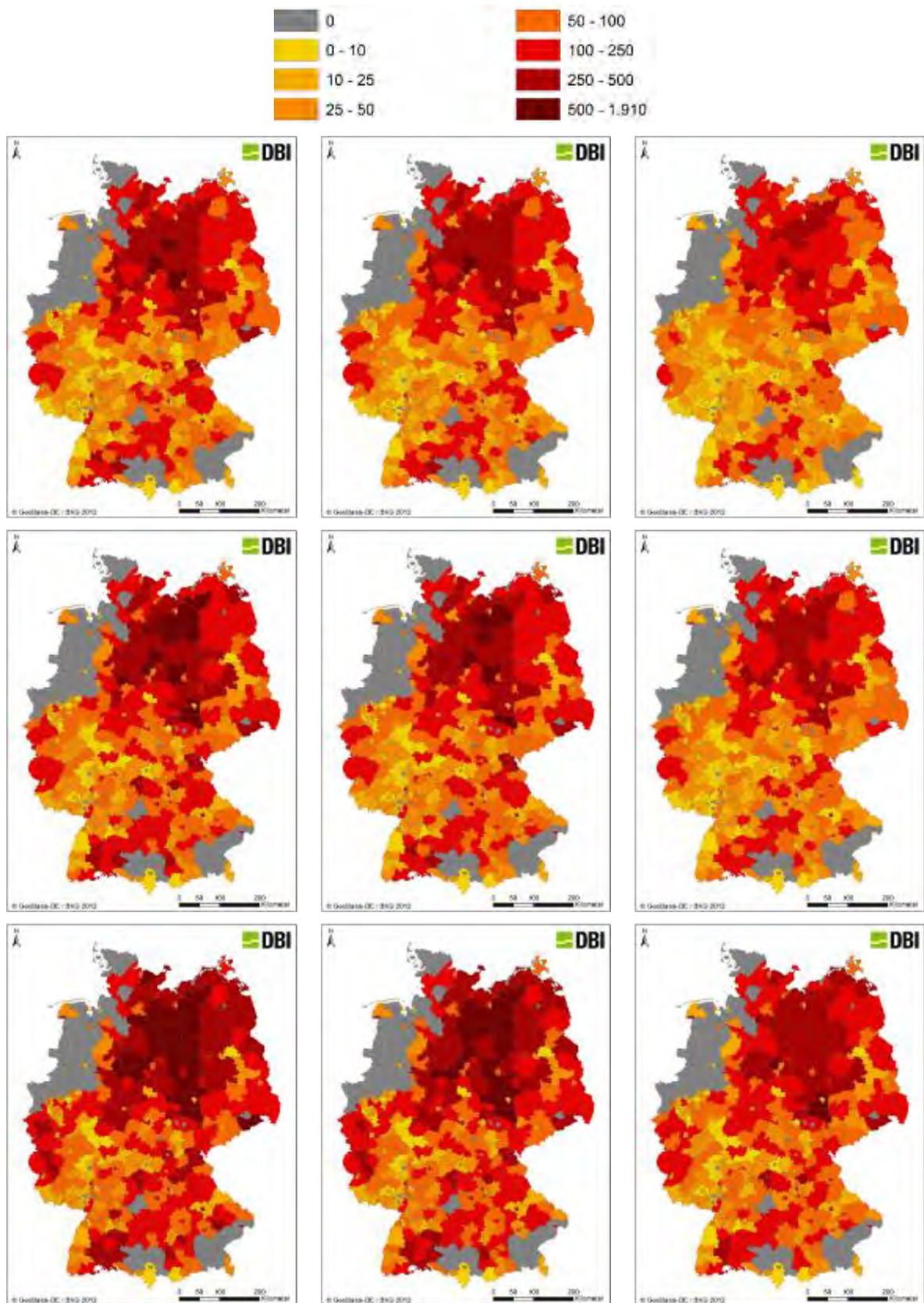


Abbildung 175: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Mais in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten), Szenario „Nachhaltige Entwicklung“

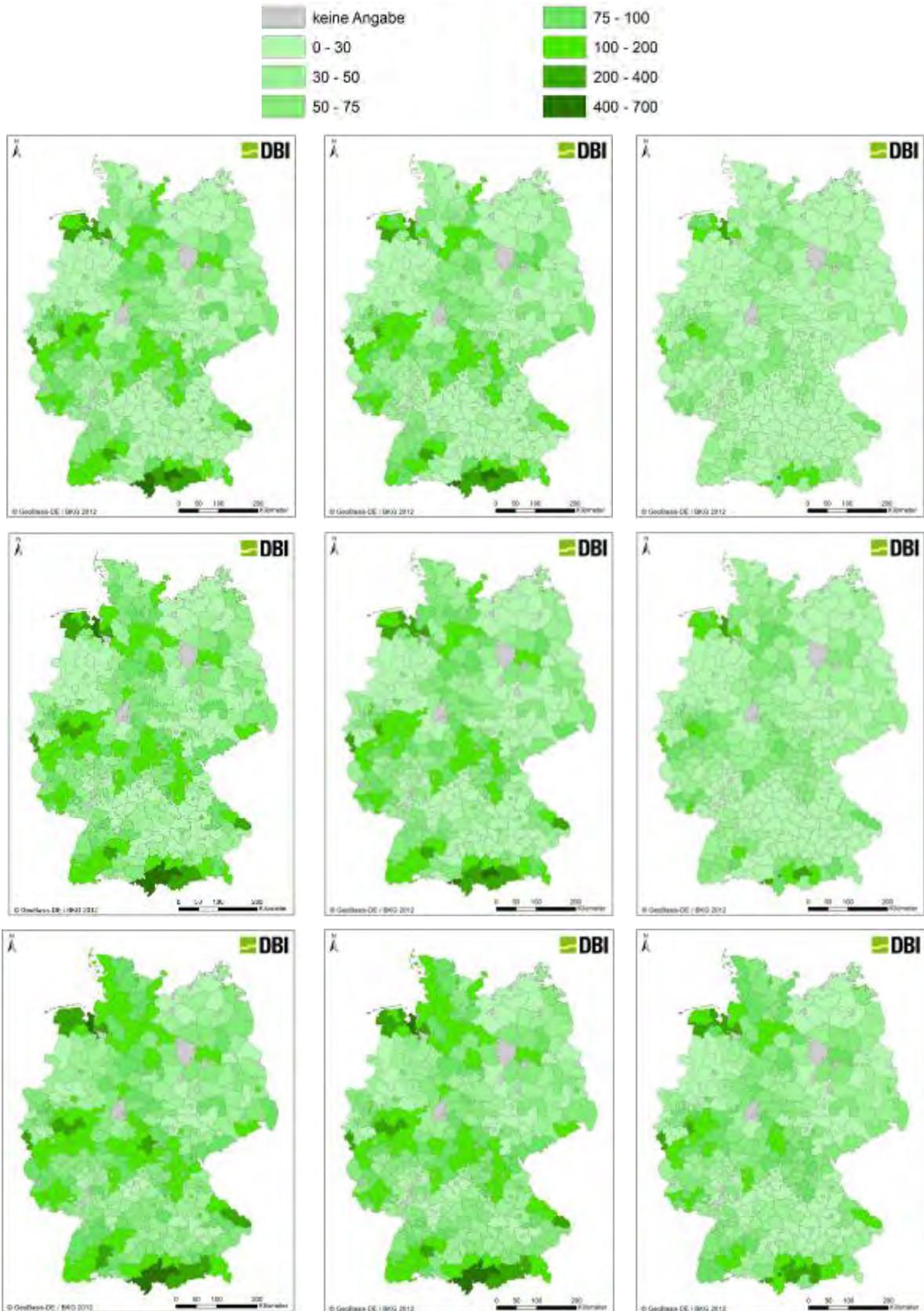


Abbildung 176: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Dauergrünland in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

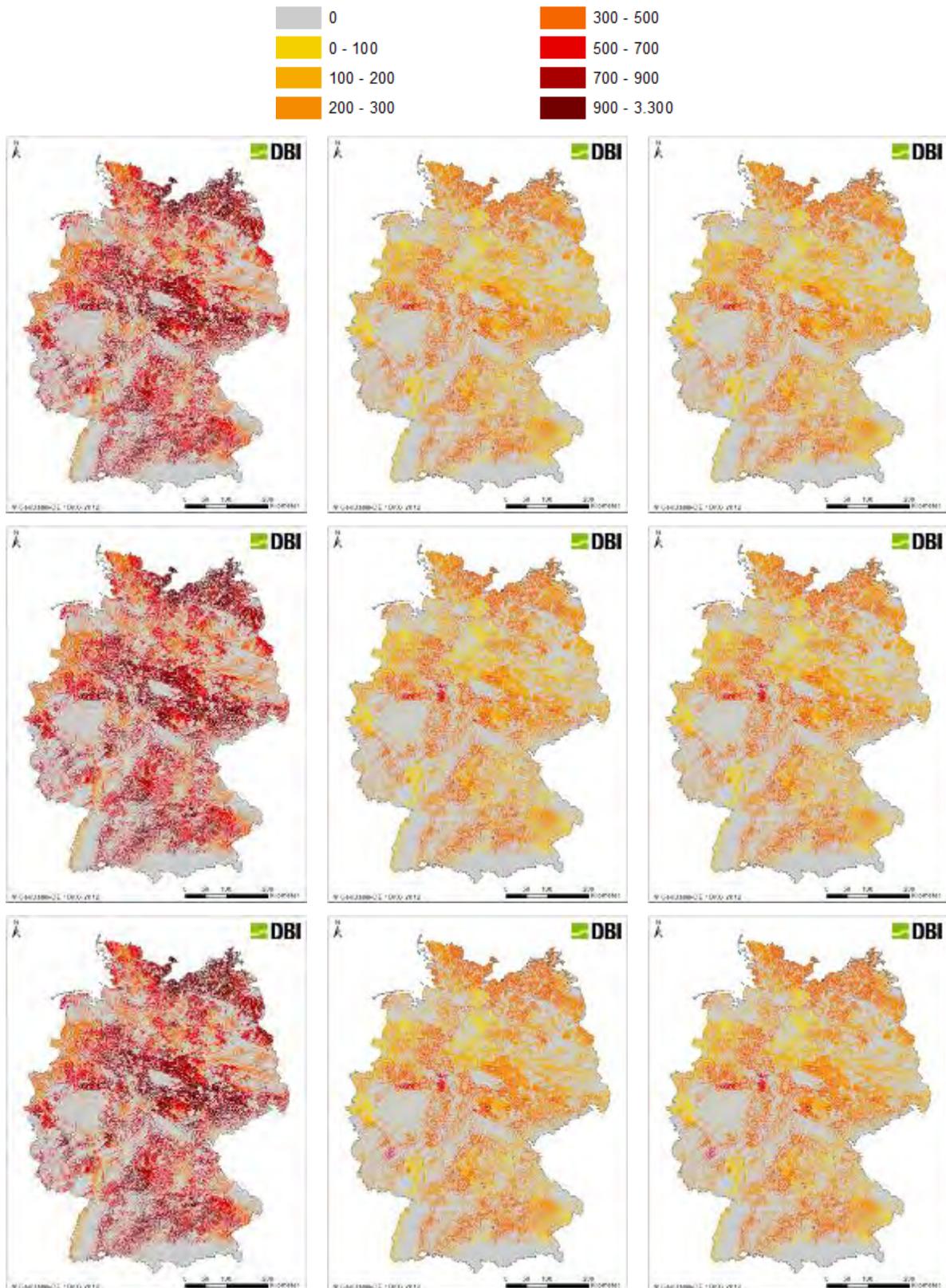


Abbildung 177: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Raps- und Getreidestroh in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

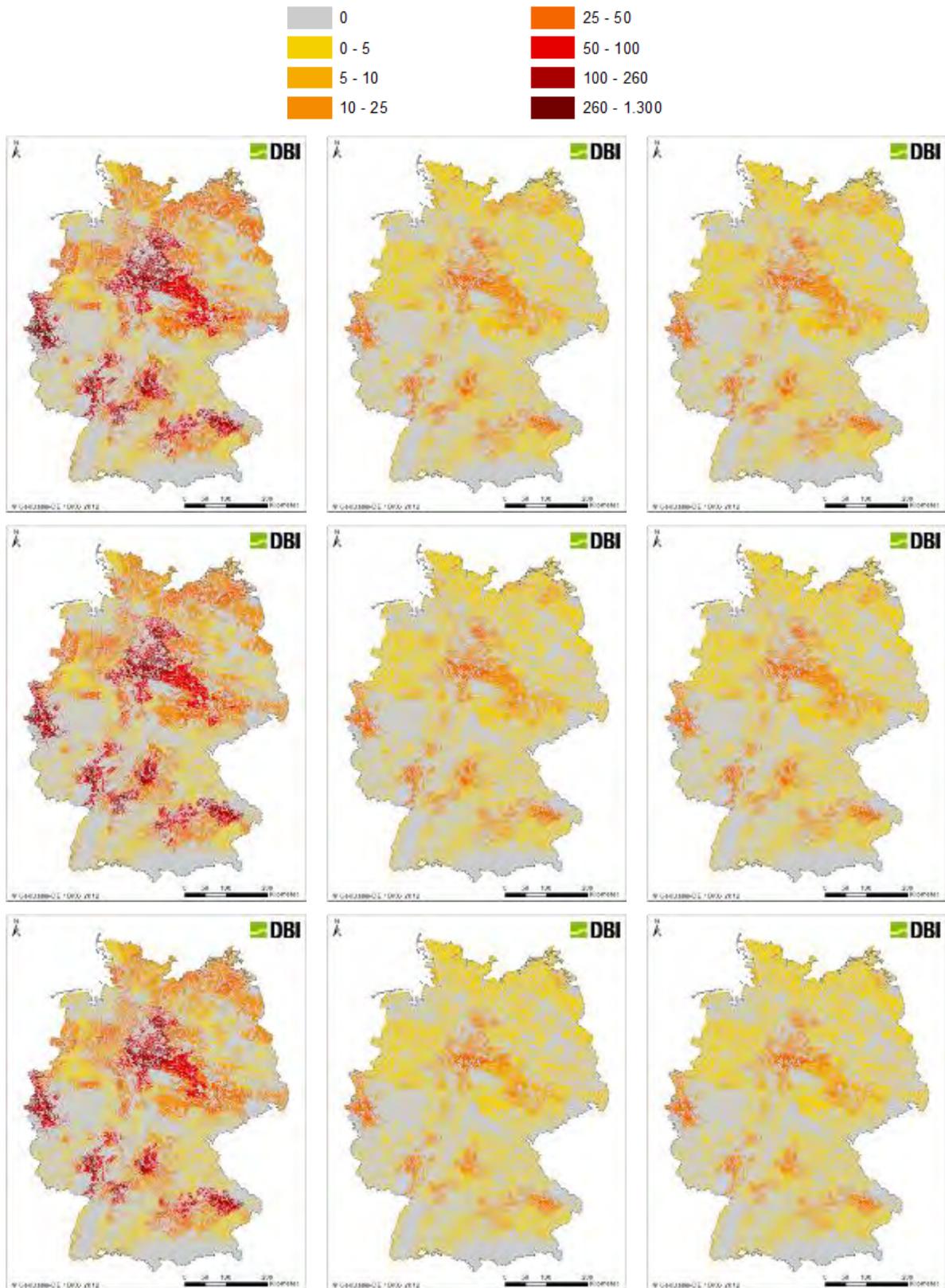


Abbildung 178: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Kartoffel- und Rübenblatt in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

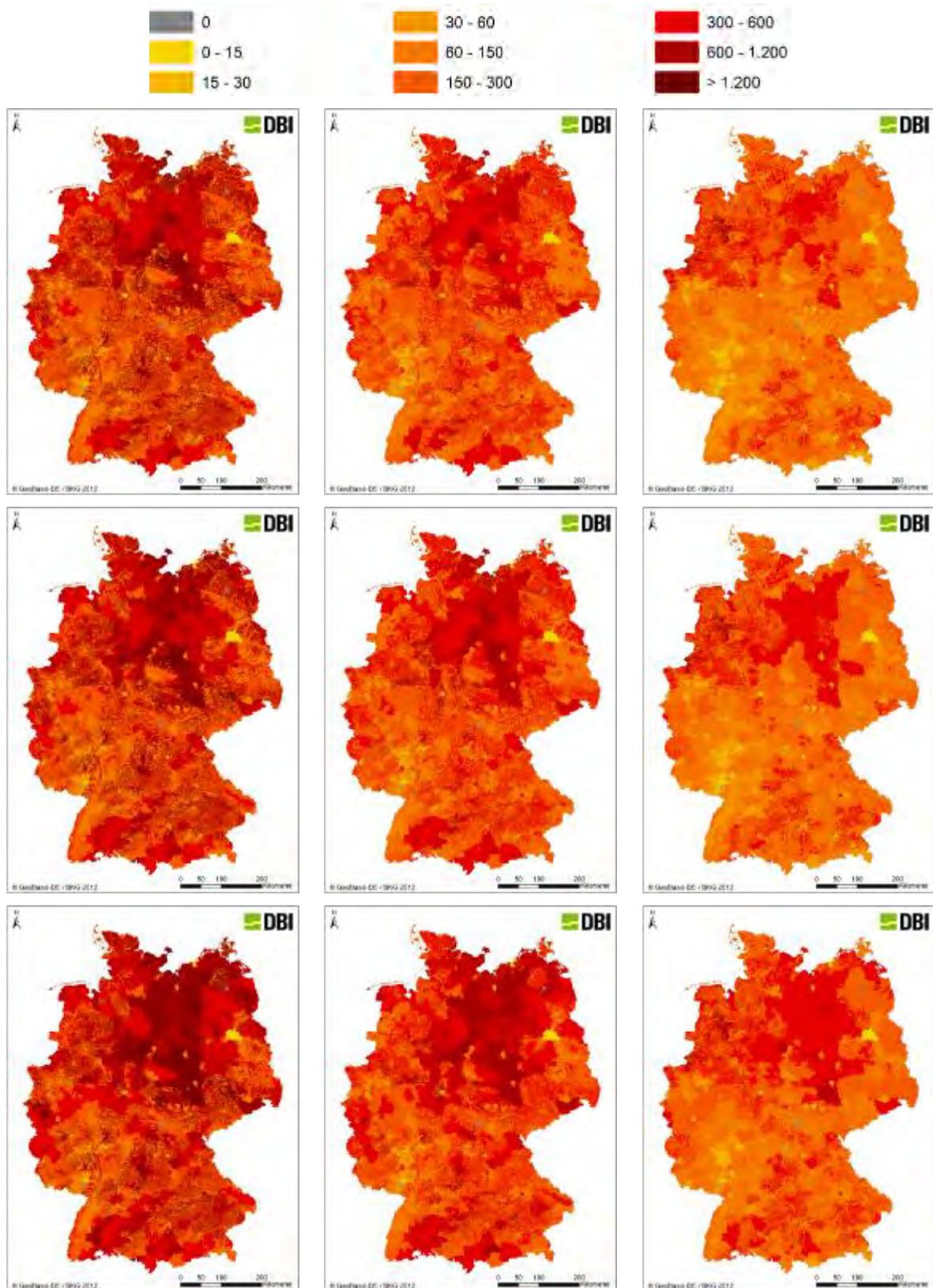


Abbildung 179: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von landwirtschaftlichen Substraten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

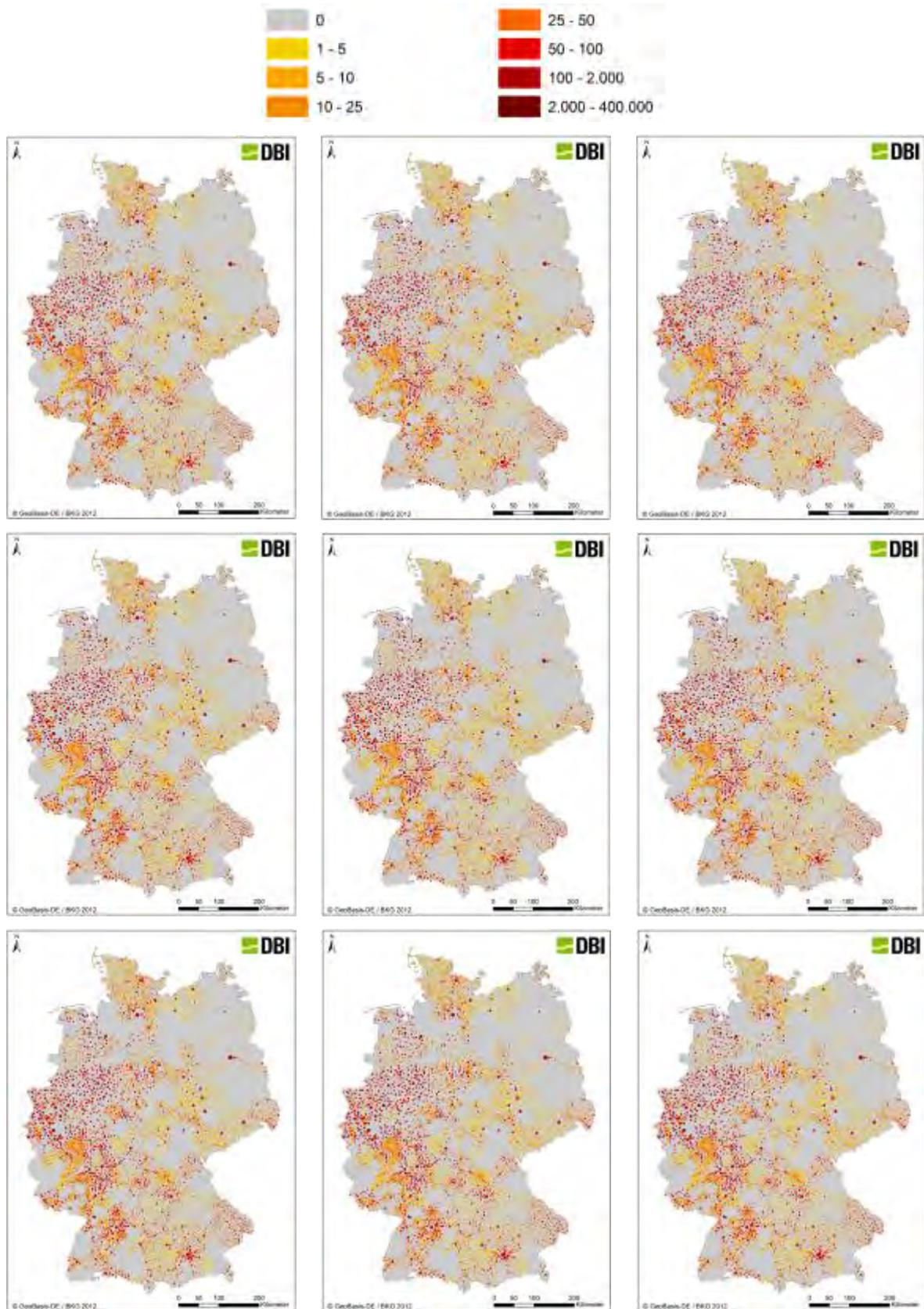


Abbildung 180: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Biotonne in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

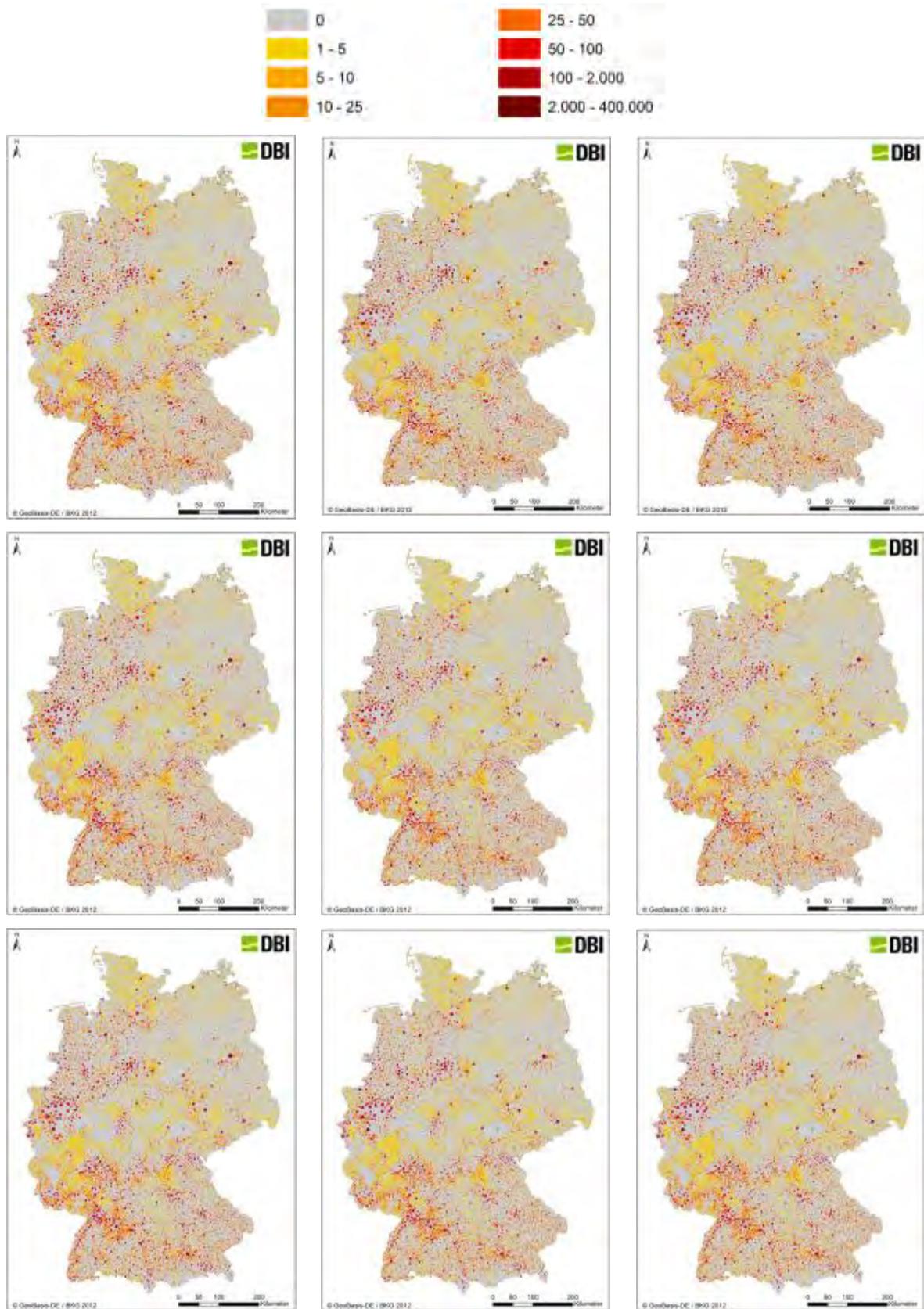


Abbildung 181: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Grünschnitt in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

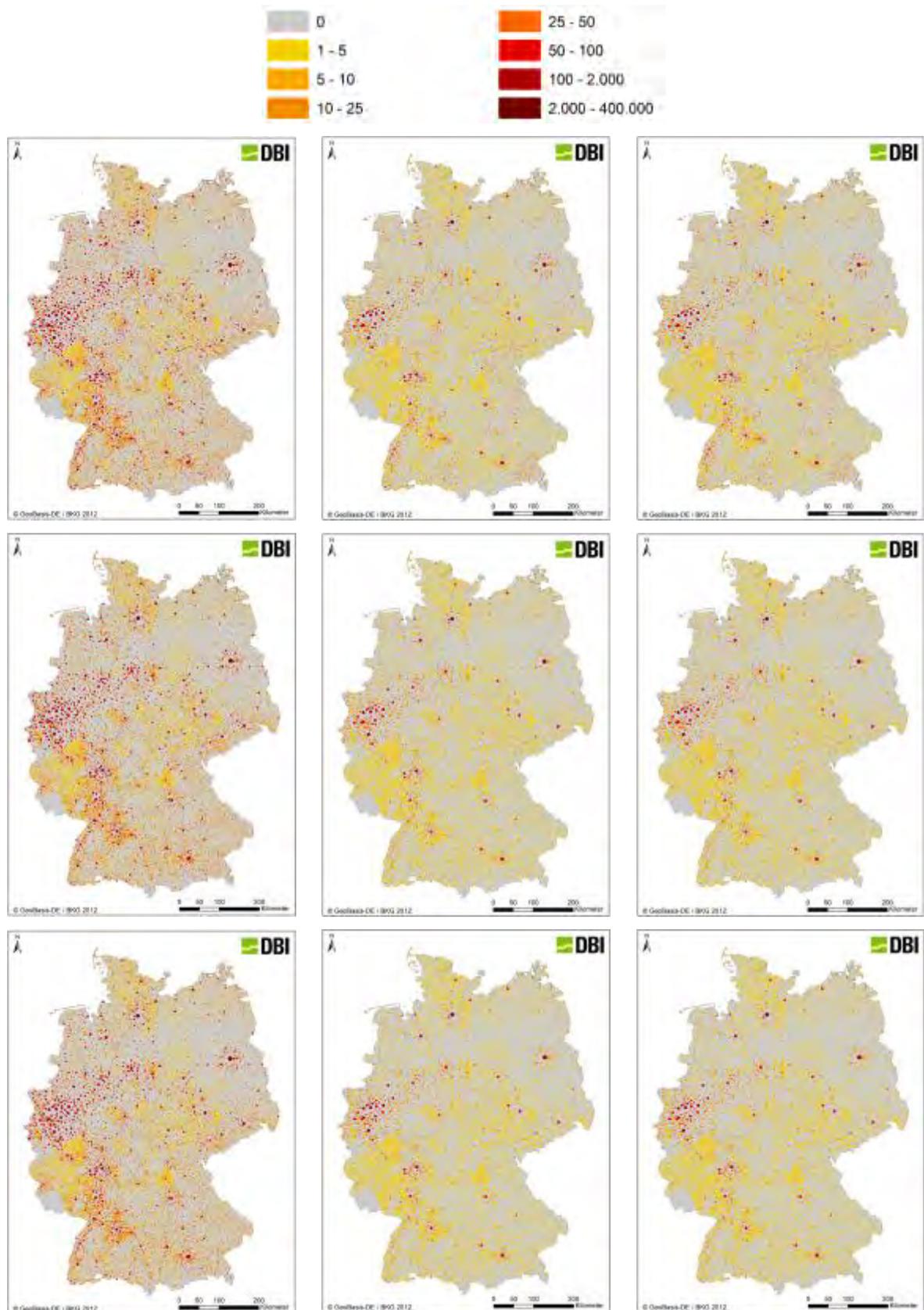


Abbildung 182: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Restmüll für in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

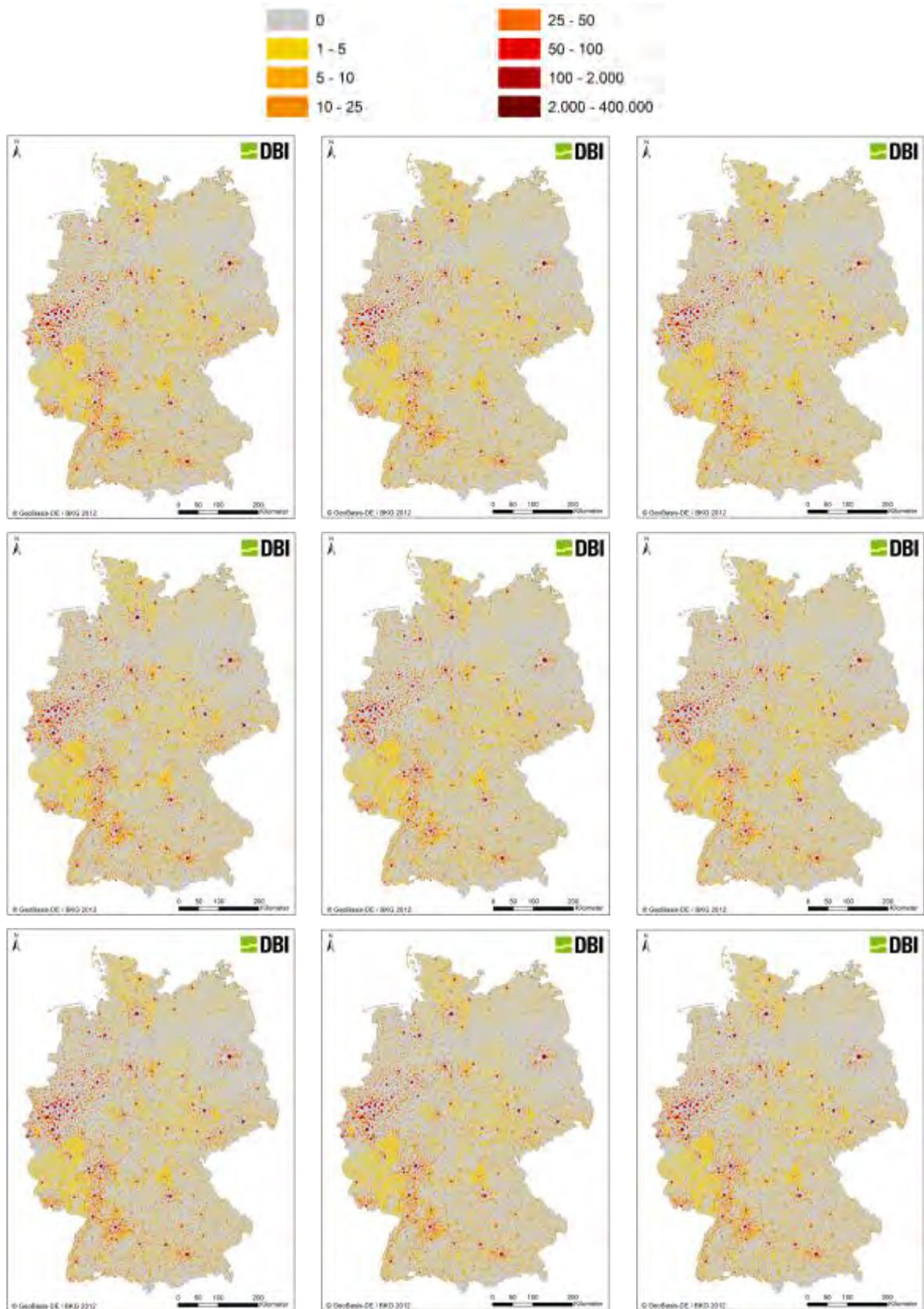


Abbildung 183: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Speiseresten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

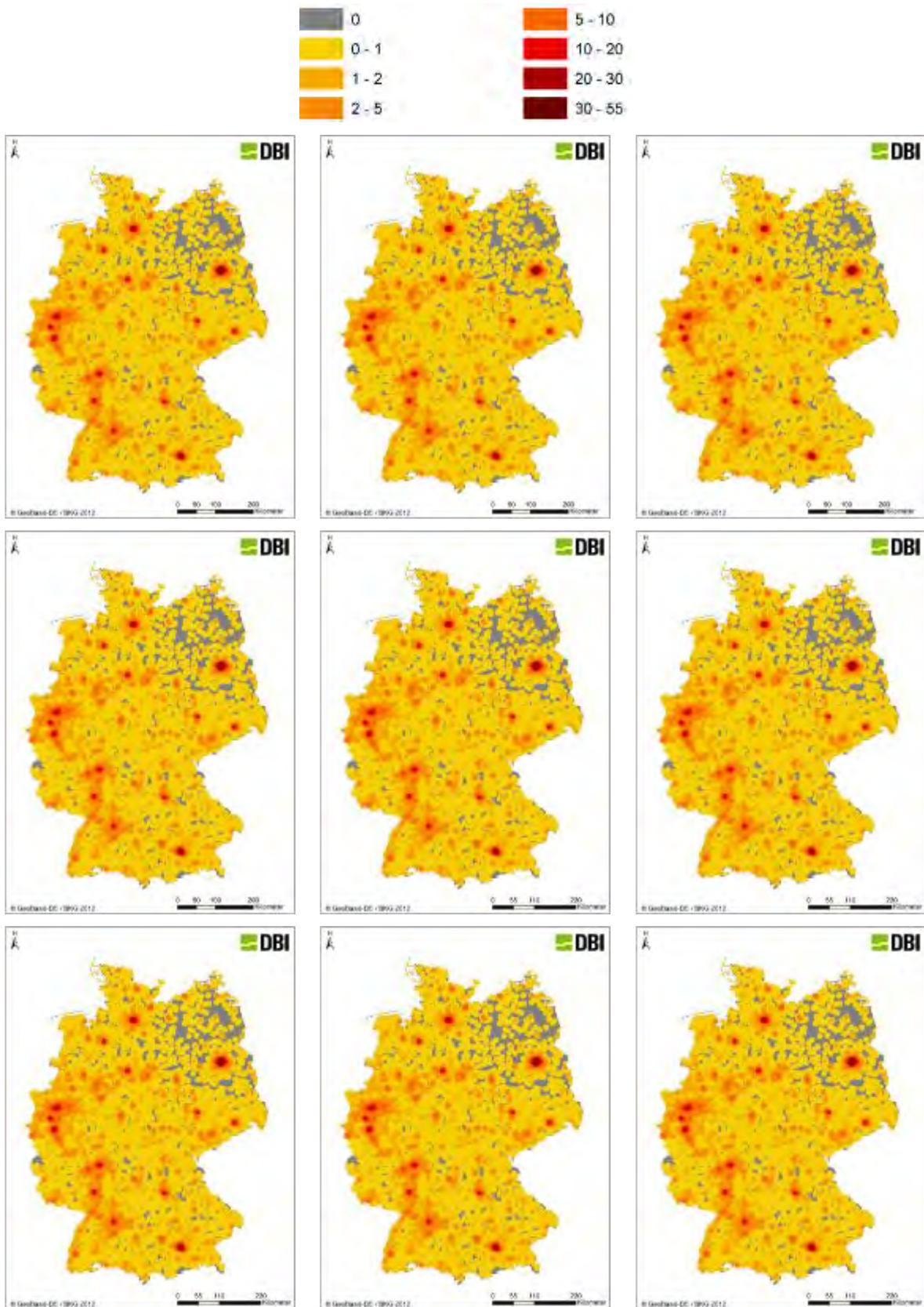


Abbildung 184: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Supermarktresten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

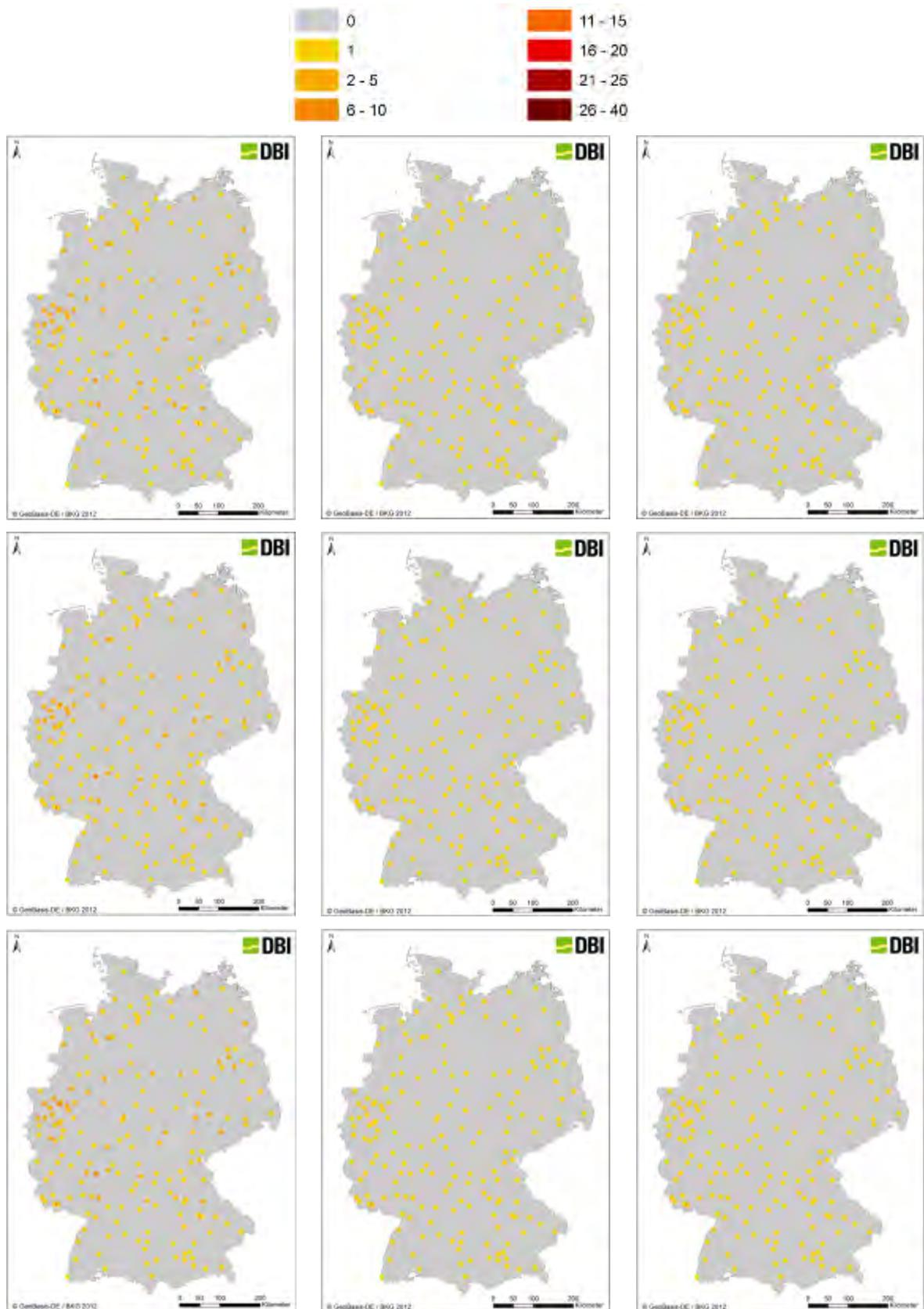


Abbildung 185: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an Autobahn in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

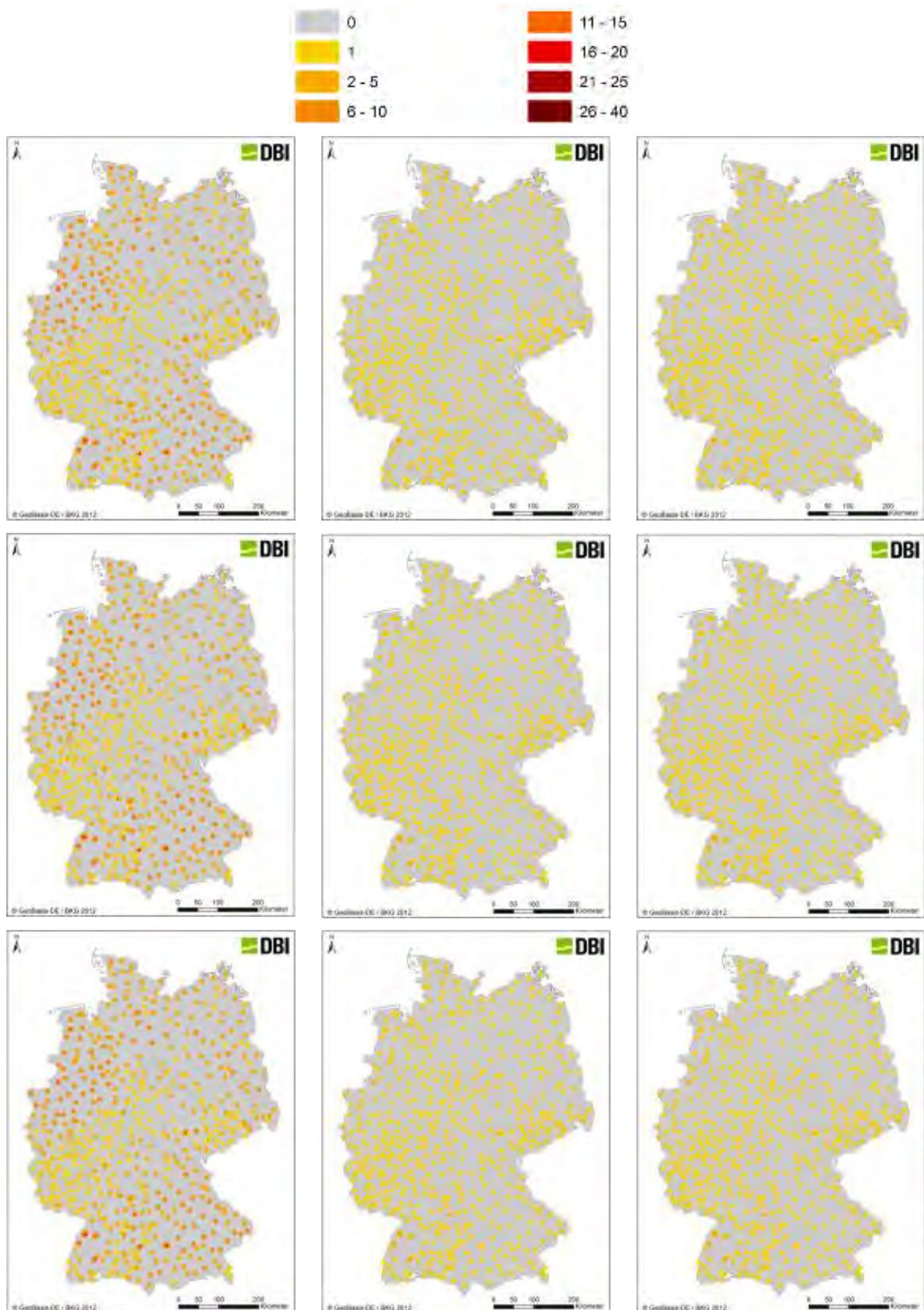


Abbildung 186: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von Straßenbegleitgrün an sonstigen Straßen in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

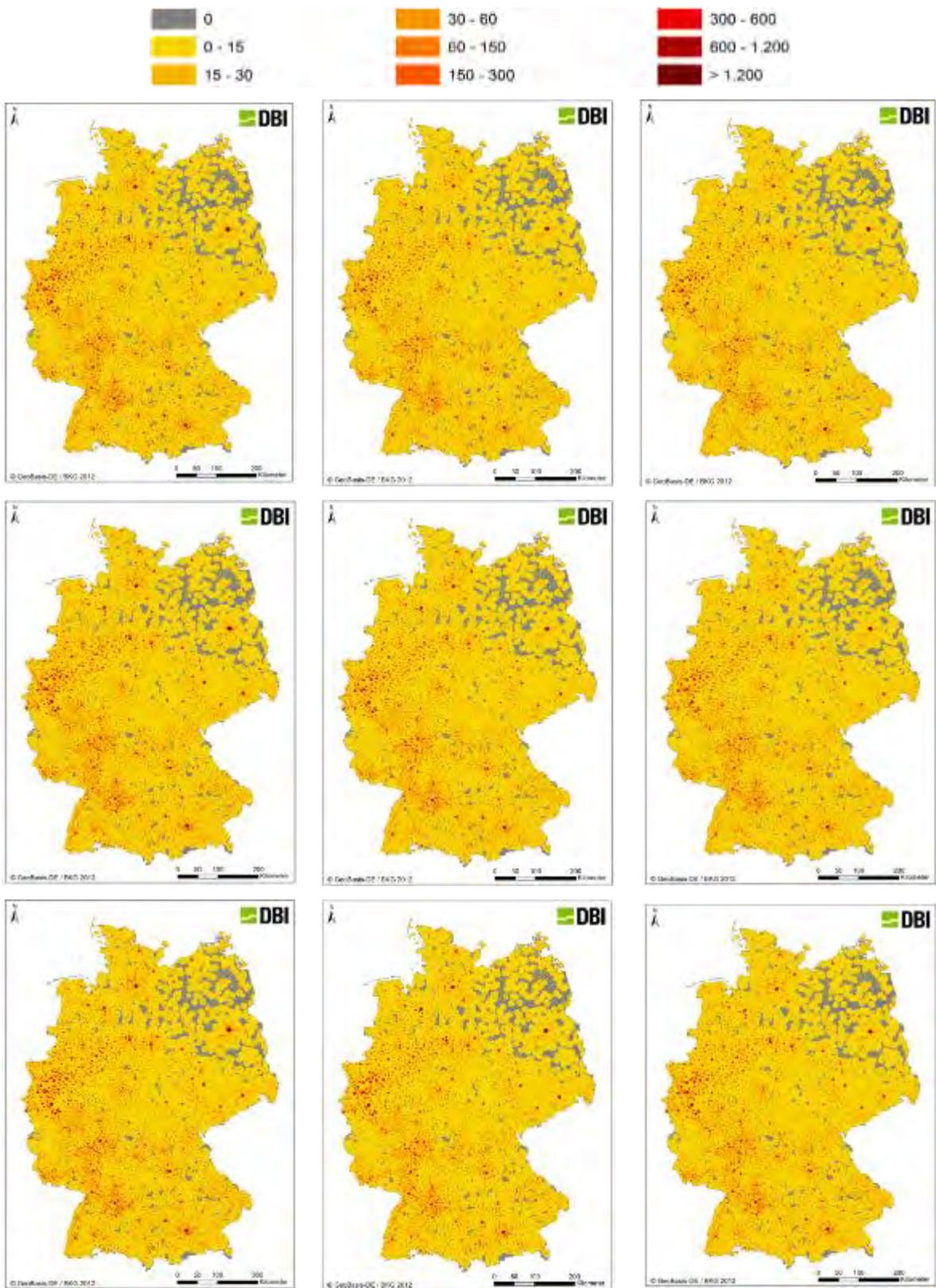


Abbildung 187: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches (von links nach rechts) Biomethanpotenzial von kommunalen Substraten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

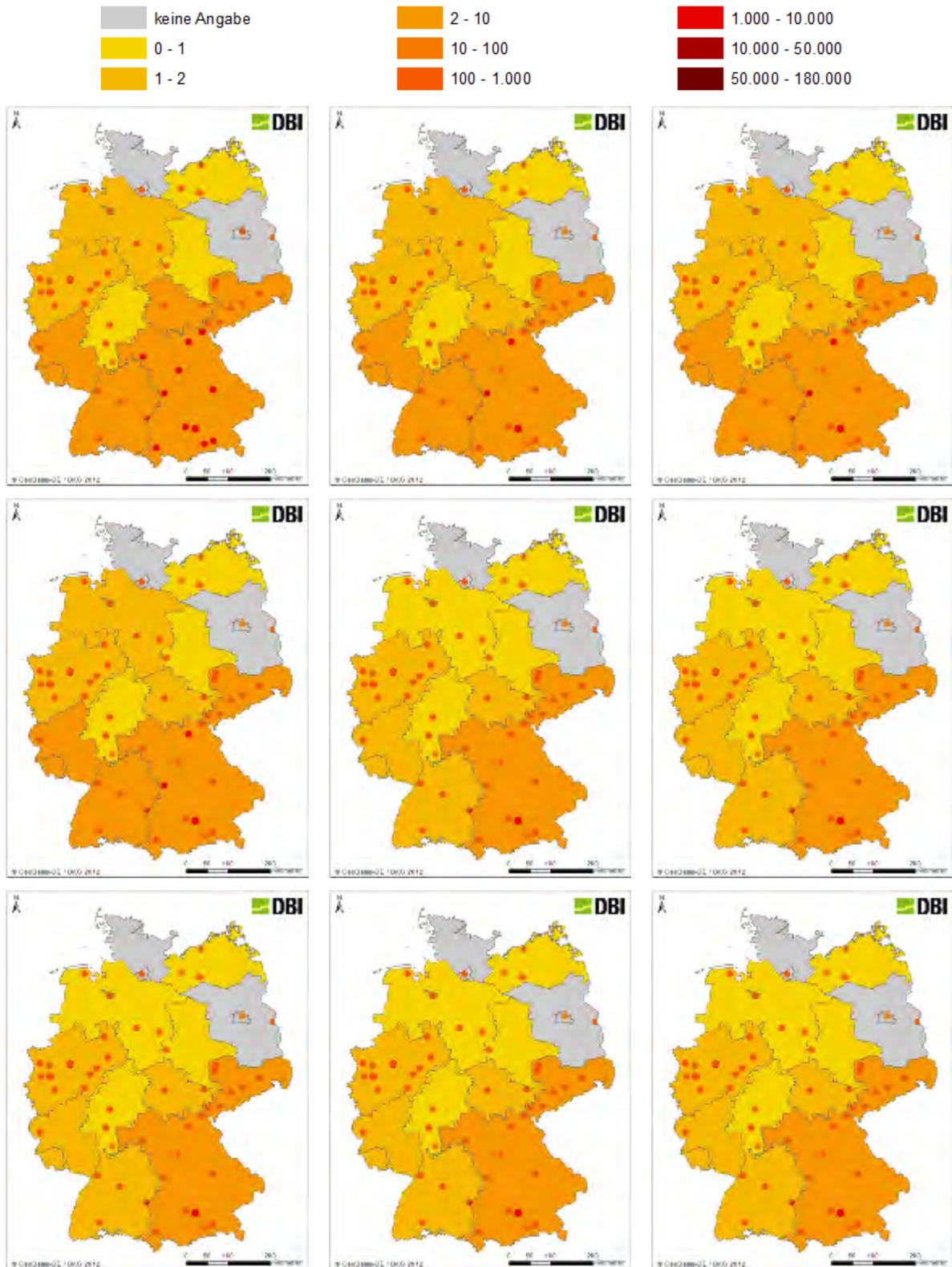


Abbildung 188: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Biertreber in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

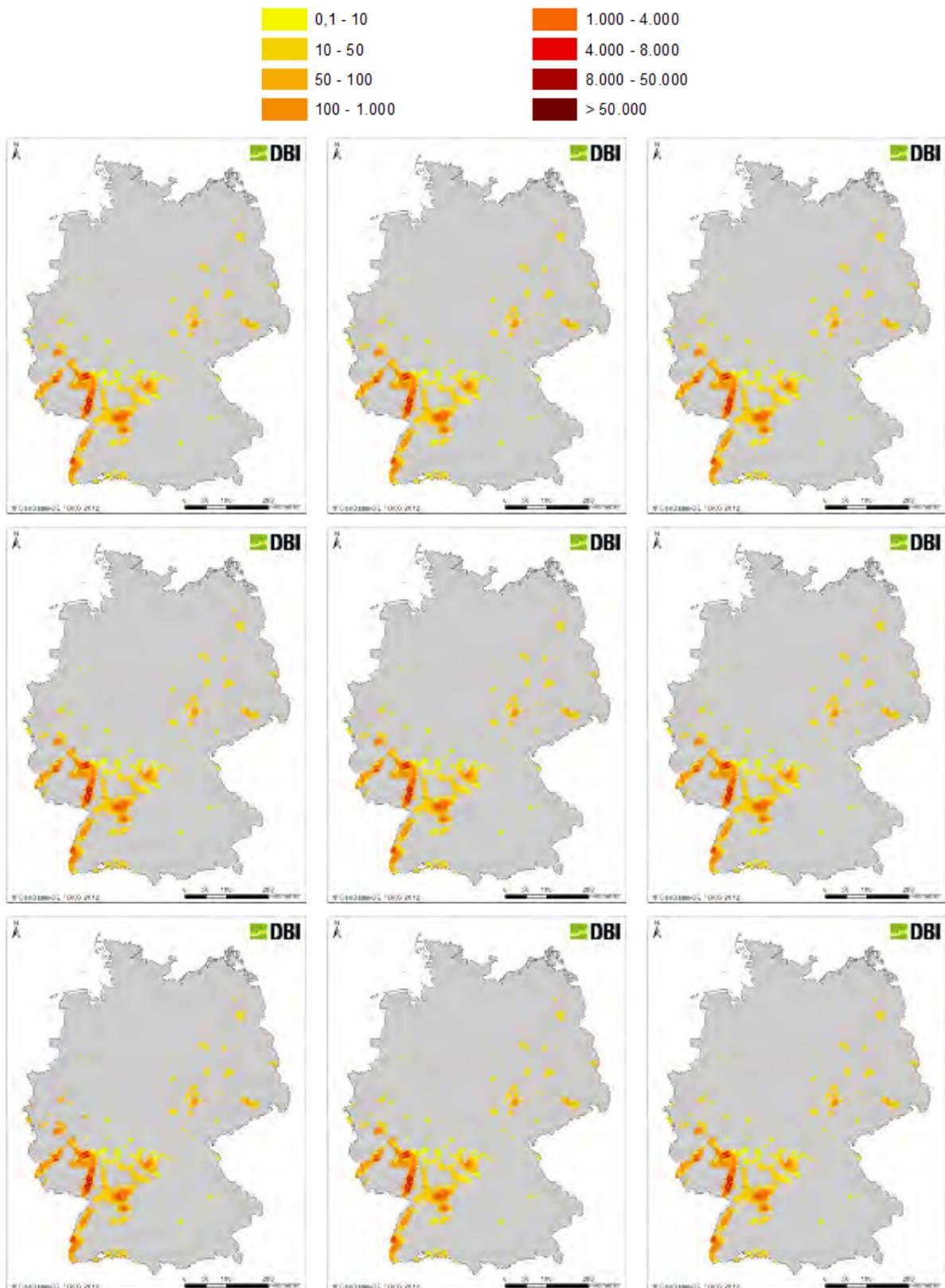


Abbildung 189: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Weintrester in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

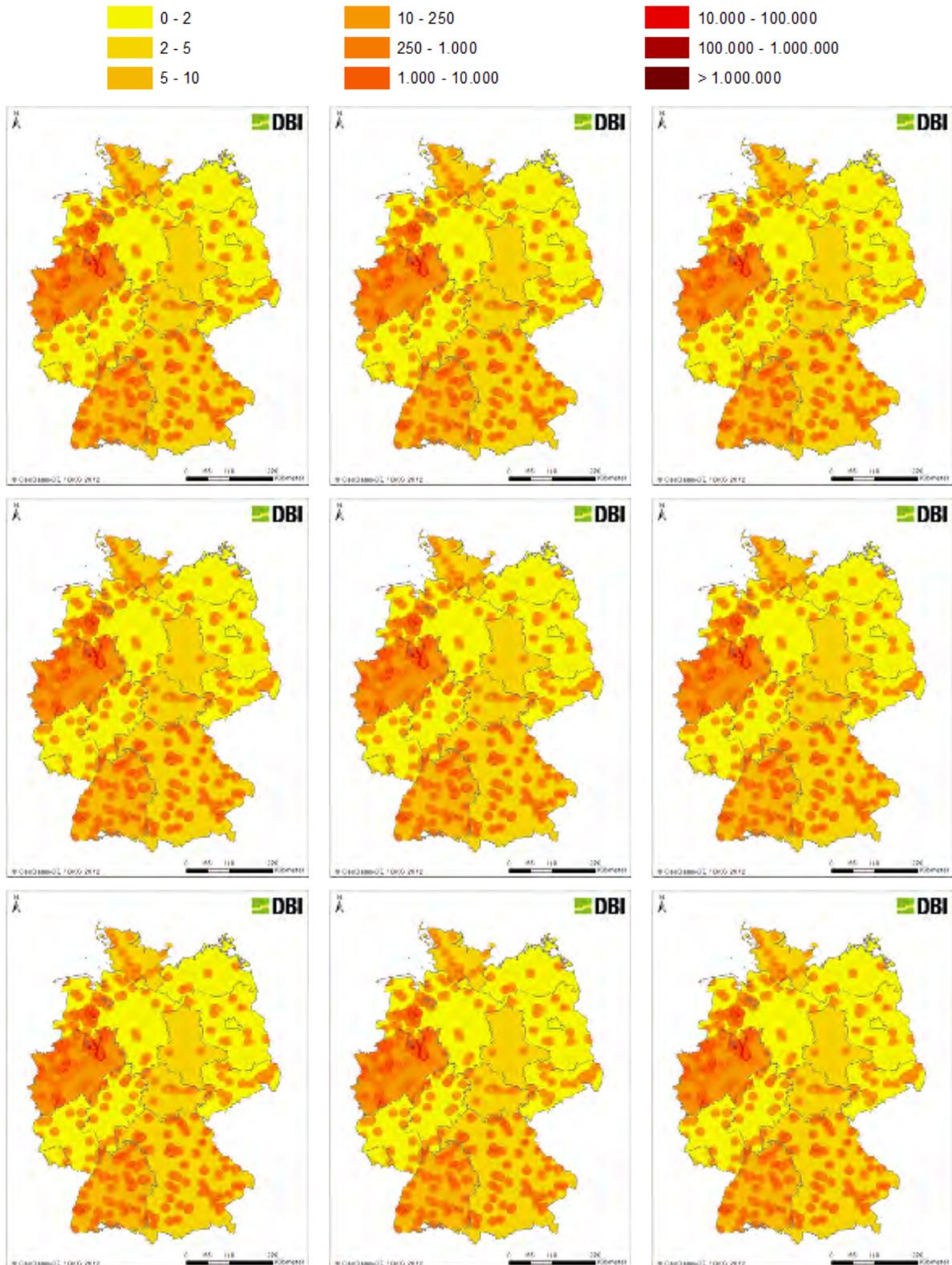


Abbildung 190: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Schlachtresten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

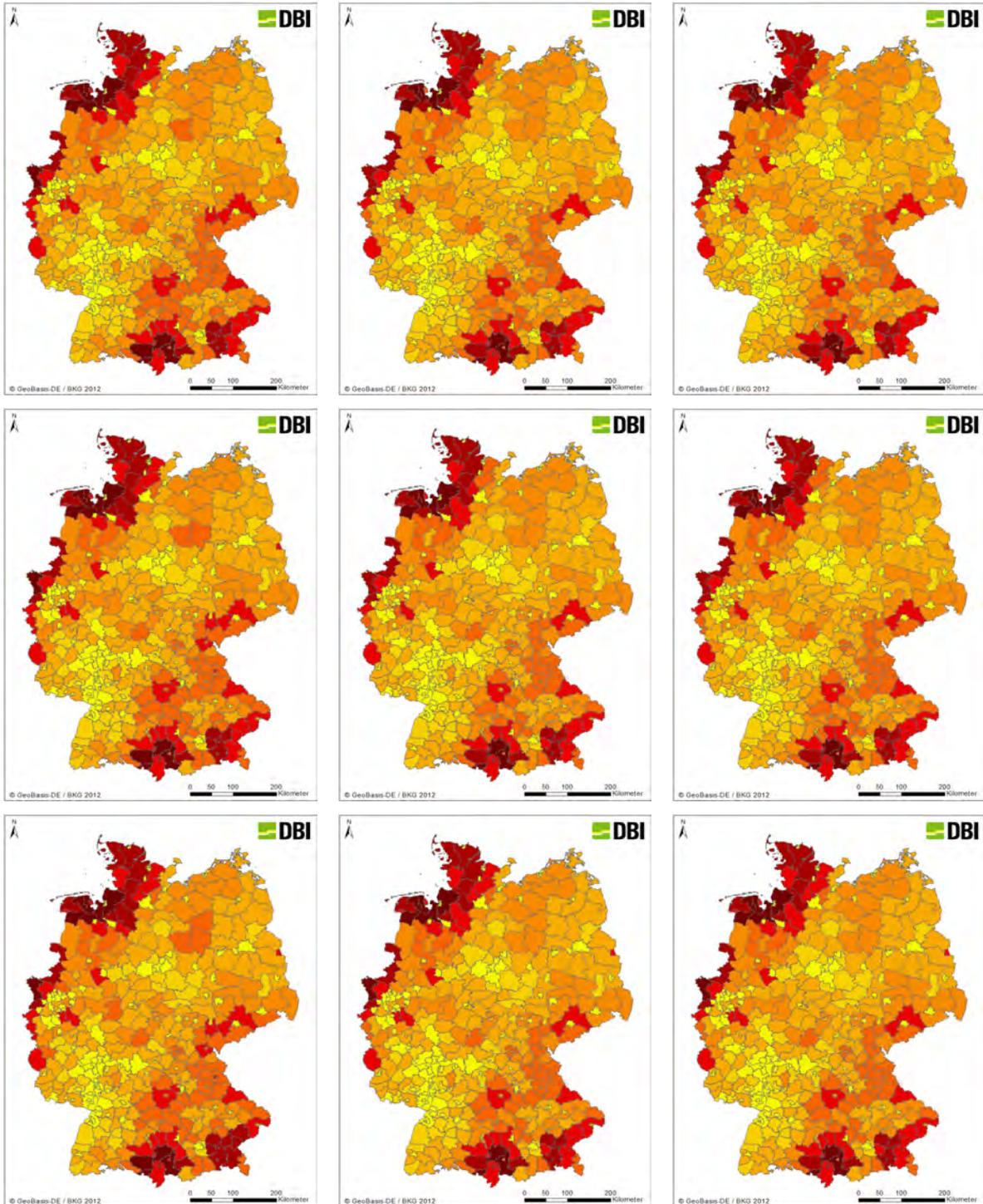


Abbildung 191: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Molke in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

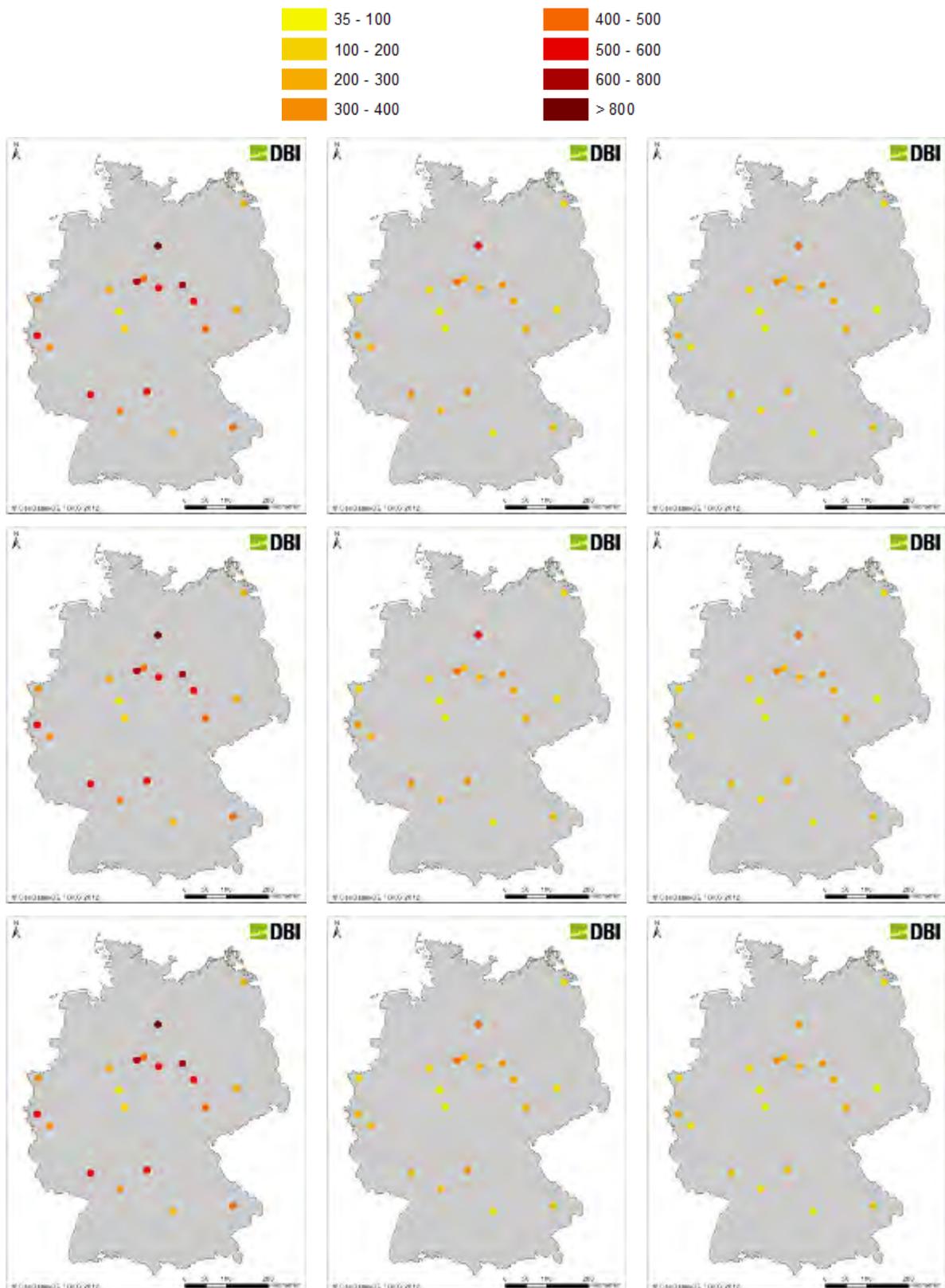


Abbildung 192: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Rübenschnitzel und Melasse in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

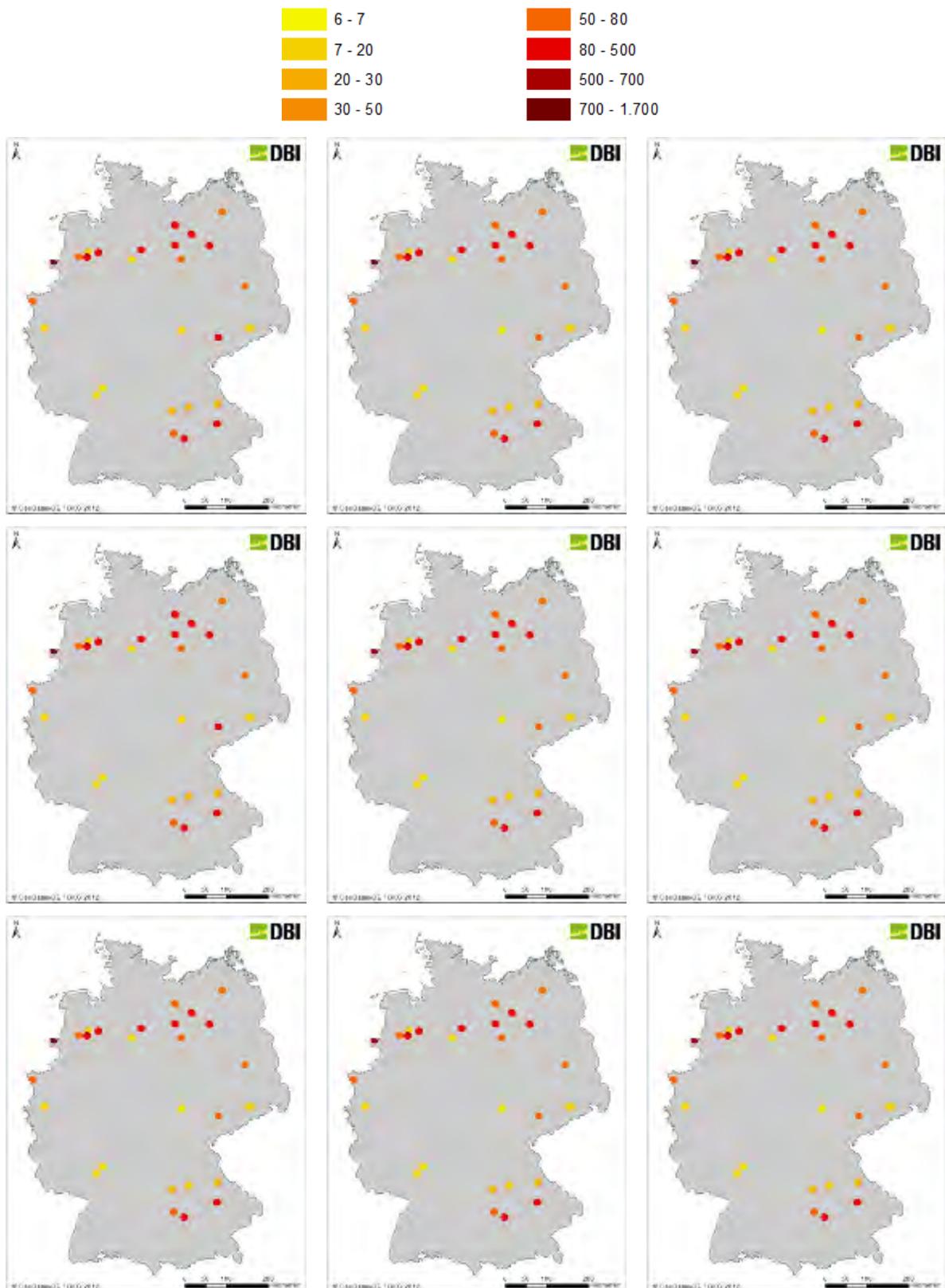


Abbildung 193: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Kartoffelschalen in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

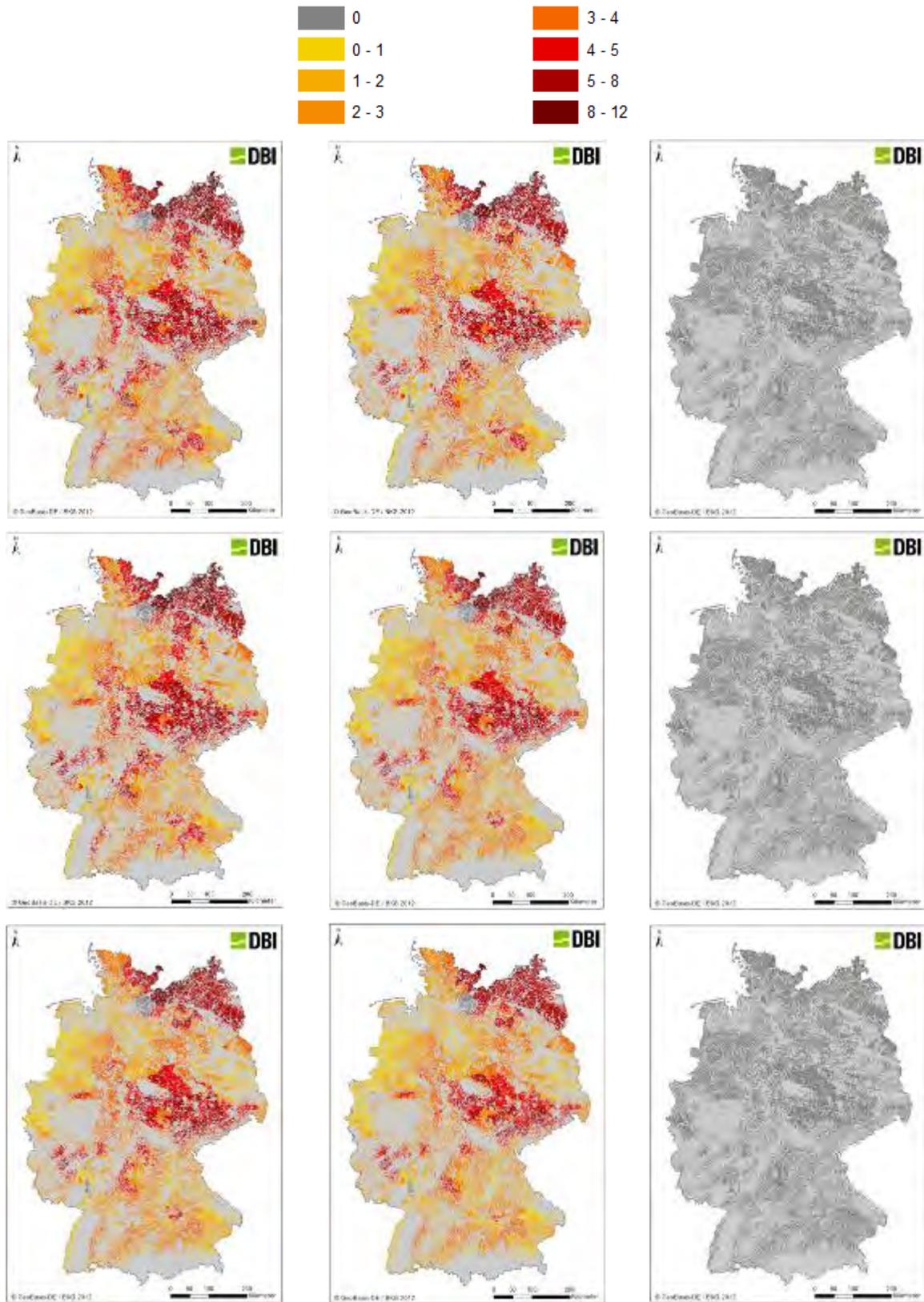


Abbildung 194: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Rohglycerin in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

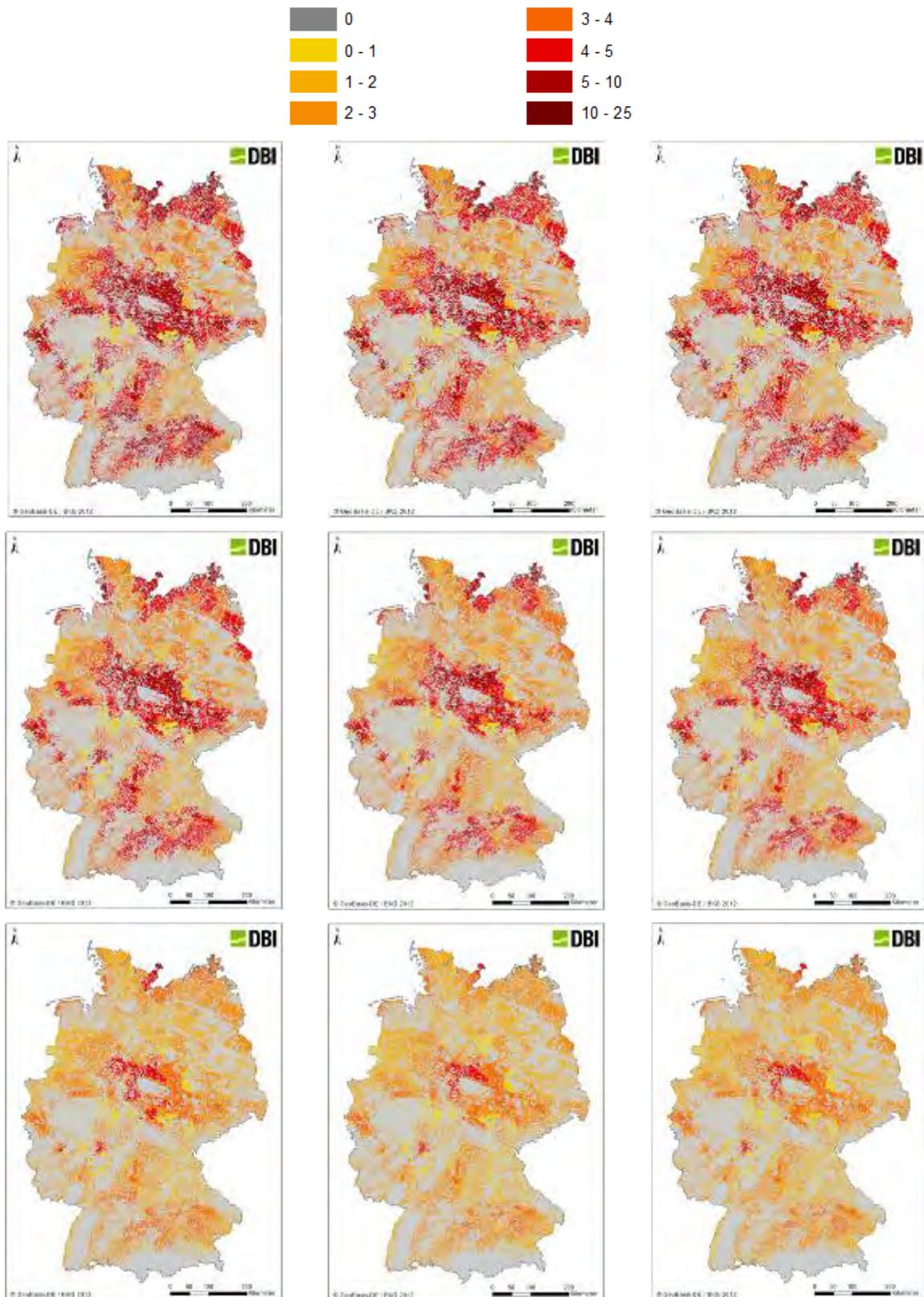


Abbildung 195: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Schlempe in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

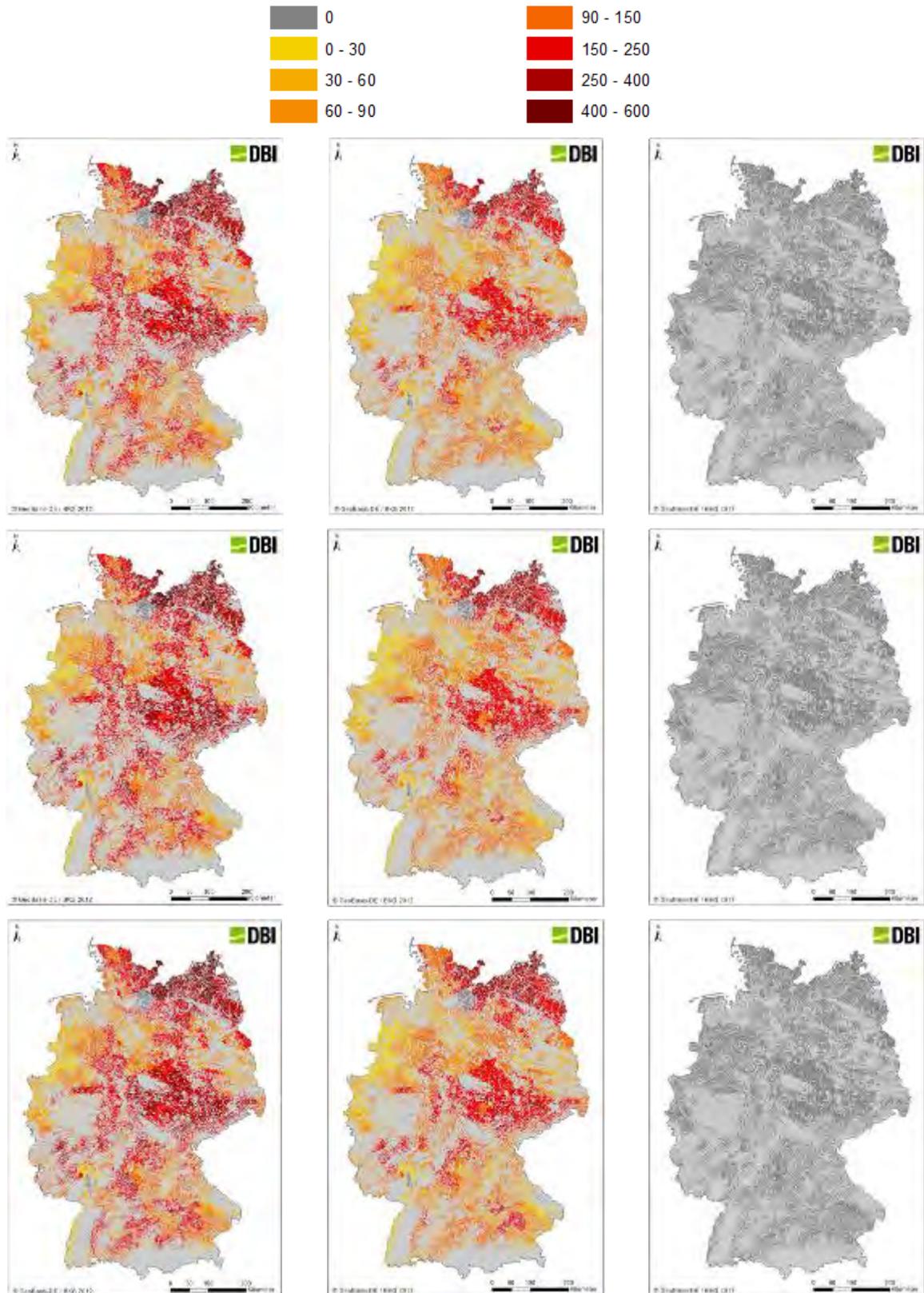


Abbildung 196: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von Rapspresskuchen in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

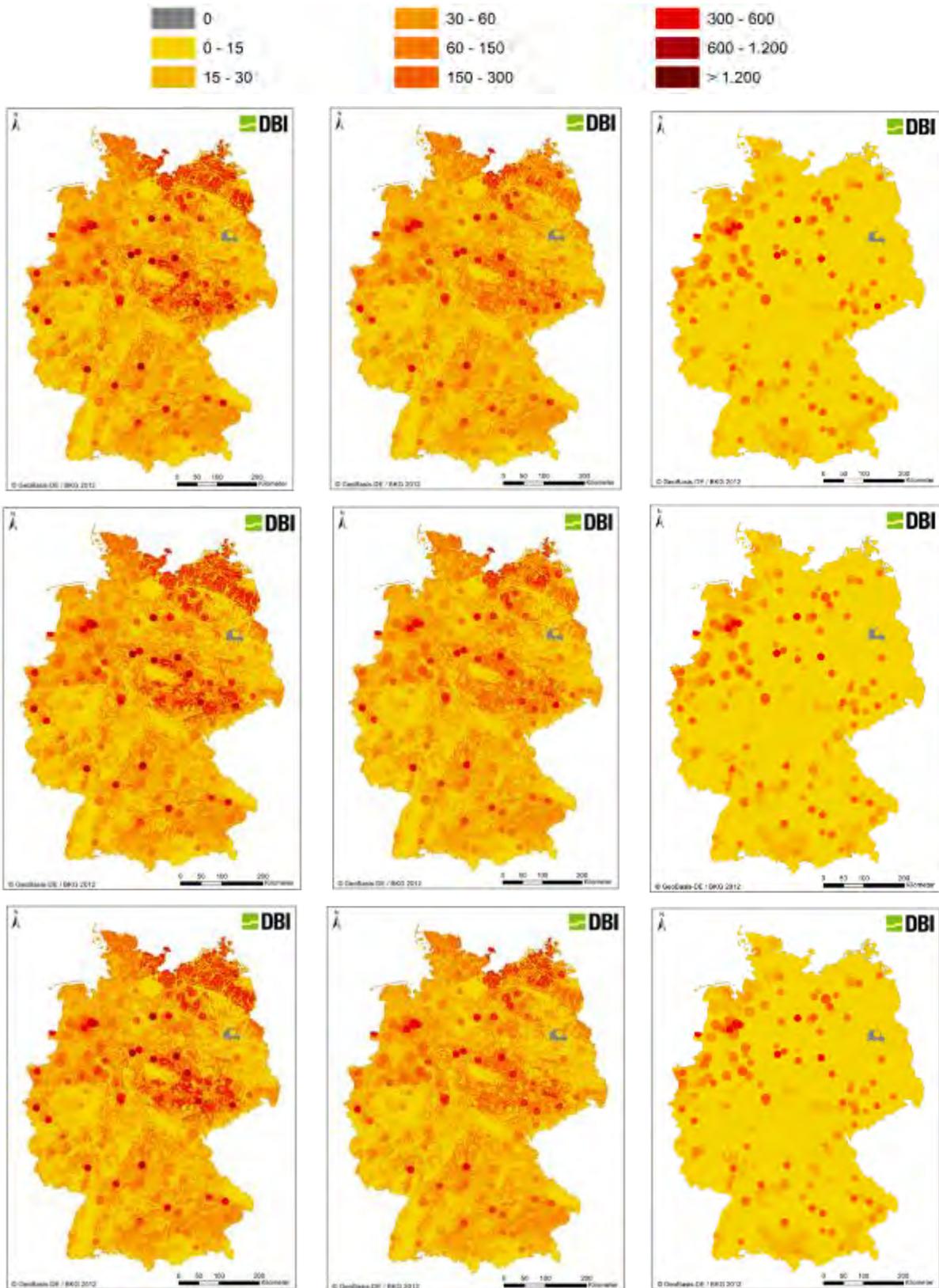


Abbildung 197: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von industriellen Substraten in Nm³ CH₄/ha für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)

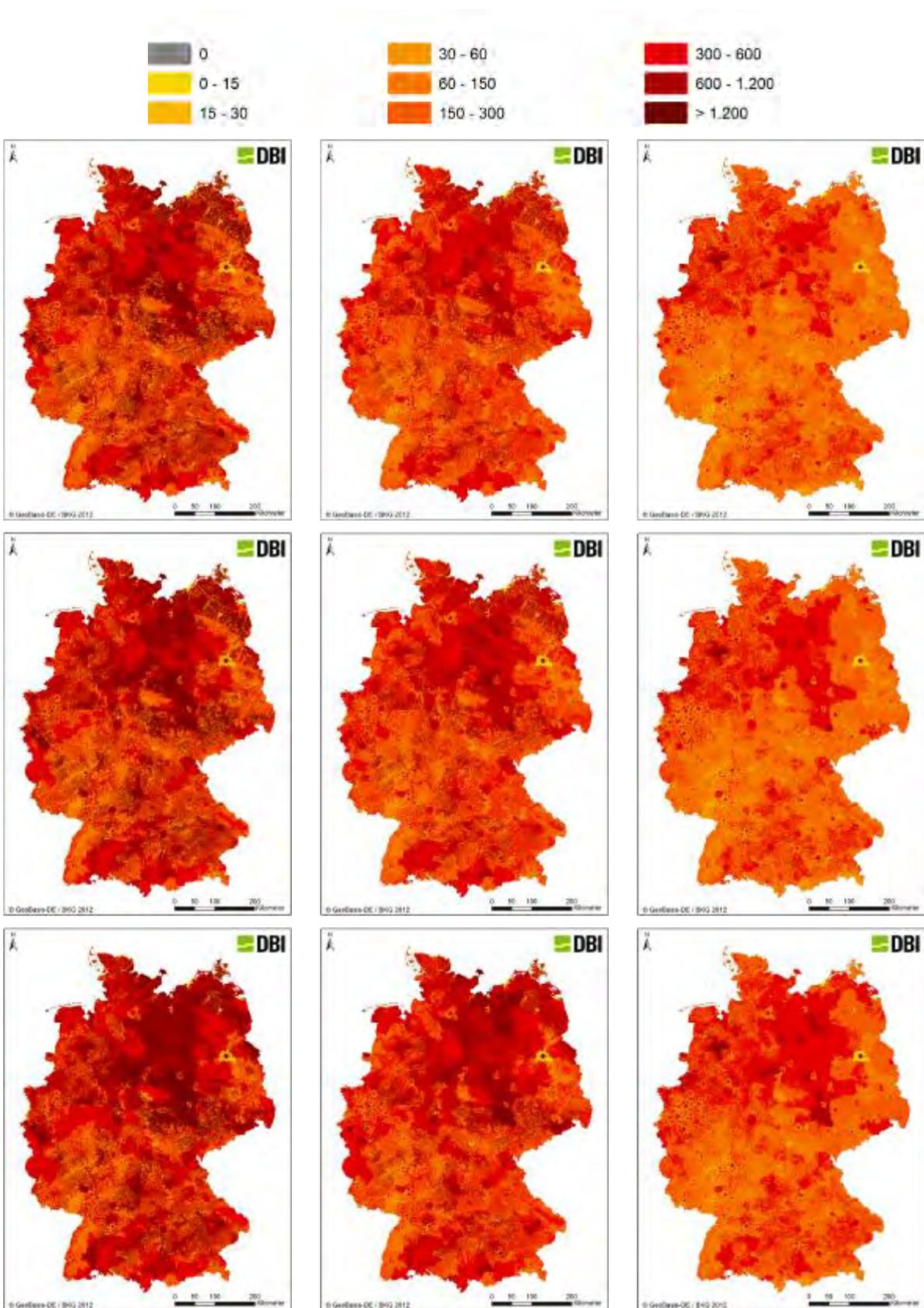


Abbildung 198: Theoretisches, technisches und wirtschaftliches Biomethanpotenzial (von links nach rechts) von industriellen Substraten in $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$ für 2015, 2020 und 2030 (von oben nach unten)