



Endbericht

Biogaspotenzial Bayern

Erstellt durch:**Fraunhofer IEE**

Joseph-Beuys-Str. 8, 34117 Kassel

0561 7294 420

bernd.krautkremer@iee.fraunhofer.de

Dr. Bernd Krautkremer, Julia Kasten

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Vöttinger Straße 38

85354 Freising

Matthias Steindl, Dr. Mathias Effenberger, Dr. Thomas Venus

Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH

Werner-Eisenberg-Weg 1

37213 Witzenhausen

Dr. Felix Richter, Dr. Michael Kern

Stand 12.05.2025

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	8
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	10
POTENZIALDEFINITION	12
BEGRIFFSDEFINITION	12
1 ZUSAMMENFASSUNG	13
2 MOTIVATION UND ZIELE DES VORHABENS.....	17
3 DATENGRUNDLAGEN.....	18
3.1 Verwendete Daten.....	18
3.2 Stakeholderbefragungen / -Workshops	19
4 SZENARIEN	24
5 BESCHREIBUNG DES KONZEPTS DER DATENBEREITSTELLUNG UND -ZUSAMMENFÜHRUNG	27
6 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER DATENERHEBUNGS- UND -BERECHNUNGSGRUNDLAGE DER EINZELNEN ARBEITSPAKETE.....	30
6.1 Biogaspotenziale aus der Landwirtschaft	30
6.1.1 Bilanzierung landwirtschaftlicher Biomasse.....	30
6.1.2 Biomassebedarf der Biogasanlagen.....	35
6.1.3 Biomassebedarf in der Tierhaltung.....	41
6.1.4 Biomasse aus der pflanzlichen Produktion	47
6.1.5 Biomasseproduktion aus der Tierhaltung.....	54
6.2 Biogaspotenziale aus der Abfallwirtschaft.....	56
6.2.1 Berechnung des Ist-Stand-Biogaspotenzials aus der Abfallwirtschaft.....	57
6.2.2 Ziele der Abfallwirtschaft im Hinblick auf organische Abfälle	61
6.2.3 Parameter für die Berechnung der drei Szenarien.....	64
6.2.4 Berechnung des Biogaspotenzials aus der Abfallwirtschaft in den drei Szenarien.....	69
6.3 Genutzte Biogaspotenziale.....	70
6.3.1 Datengrundlage	70
6.3.2 Überlegungen zur Bestandsentwicklung	71
6.3.3 Szenarienentwicklung.....	73
7 DARSTELLUNG DER WESENTLICHEN ERGEBNISSE	76
7.1 Biogaspotenziale aus der Landwirtschaft	76
7.1.1 Ergebnisse der Berechnungen auf Landesebene.....	83
7.1.2 Ergebnisse der Berechnungen auf Landkreisebene.....	88
7.2 Biogaspotenziale aus der Abfallwirtschaft.....	97

7.2.1	Ist-Stand des Biogaspotenzials aus der Abfallwirtschaft.....	97
7.2.2	Ergebnisse der Berechnungen auf Landkreisebene.....	99
7.2.3	Biogaspotenzial aus der Abfallwirtschaft in drei Szenarien.....	107
7.3	Genutzte Biogaspotenziale.....	109
7.4	Zusammenführung und Diskussion der Ergebnisse.....	113
8	BESCHREIBUNG DER DATENÜBERGABE.....	115
9	AUSBLICK.....	116
10	LITERATURVERZEICHNIS.....	118

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Fotos der Stellwand 1 mit Anmerkungen der Workshopteilnehmer	21
Abbildung 3-2:	Fotos der Stellwand 2 mit Anmerkungen der Workshopteilnehmer	22
Abbildung 5-1:	Übergeordneter Algorithmus.....	27
Abbildung 5-2:	Untergeordneter Algorithmus zur Berechnung des Biogaspotenzials aus der Landwirtschaft.....	28
Abbildung 5-3:	Untergeordneter Algorithmus zur Berechnung des Biogaspotenzials aus organischen Abfällen	28
Abbildung 5-4:	Untergeordneter Algorithmus zur Berechnung des bereits durch Biogasanlagen genutzten Potenzials	28
Abbildung 6-1:	Schematische Darstellung der Bilanzierung des technischen Biomassepotenzials in Import- und Exportgemeinden für die Biogasproduktion unter Berücksichtigung des Tierhaltungsbedarfs.....	35
Abbildung 6-2:	Ablauf zur Rückrechnung des Biomasseverbrauchs je Biogasanlage.....	37
Abbildung 6-3:	Darstellung des Vorgehens zu Identifizierung der relevanten Biogasanlagenstandorte aus den Daten des Energieatlas Bayern.....	38
Abbildung 6-4:	Histogramm der leistungsgewichteten elektrischen Wirkungsgrade von 600 landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Bayern im Jahr 2022	39
Abbildung 6-5:	Schema zur Berechnung des Ertragsparameters und der Substratanteile an einem Biogasanlagenstandort	40
Abbildung 6-6:	Lage der unterschiedlichen landwirtschaftlichen Erzeugergebiete in Bayern	43
Abbildung 6-7:	Ablauf zur Rückrechnung des Biomasseverbrauchs für die Einstreu in festmistbasierten Haltungssystemen in der Tierhaltung	44
Abbildung 6-8:	Ablauf zur Rückrechnung des Biomasseverbrauchs für die Bereitstellung von Futtermitteln in der Tierhaltung	45
Abbildung 6-9:	Ablauf zur Rückrechnung der Biomasseproduktion in der pflanzlichen Produktion in jeder Gemeinde.....	48
Abbildung 6-10:	Ablauf zur Rückrechnung des Biomasseanfalls in der Tierhaltung in jeder Gemeinde.....	54
Abbildung 6-11:	Zusammensetzung des Hausmülls in Deutschland [25]	61
Abbildung 6-12:	Auswirkungen des Endes der 20-jährigen EEG-Förderung auf Bestand und Leistung der Bayerischen BGA und BGAA ohne Berücksichtigung eines möglichen Weiterbetriebs für den Zeitraum 2022 – 2026 [Eigene Abbildung auf Basis von [38, 39]]	72
Abbildung 6-13:	Auswirkungen des Endes der 20-jährigen EEG-Förderung und vorzeitiger Stilllegungen auf Bestand und Leistung der Bayerischen BGA und BGAA ohne Berücksichtigung eines möglichen Weiterbetriebs für den Zeitraum 2022 – 2026 [Eigene Abbildung auf Basis von [38, 39]].....	73

Abbildung 6-14:	Diskussionsgrundlage der Einflussgrößen auf das durch BGA und BGAA genutzte Potenzial [40] für den Stakeholderworkshop.....	74
Abbildung 7-1:	Standorte landwirtschaftlicher Biogasanlagen, unterteilt nach jährlichem Produktionsvolumen (Datenstand 2021) und Anlagenklasse	78
Abbildung 7-2:	Methanertrag an landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Bayern nach Anlagentyp und Region in den Jahren 2019 - 2022 (N-BGA) sowie 2023 (G-BGA)	79
Abbildung 7-3:	Substratzusammensetzung nach Biomassetypen an landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Bayern nach Anlagentyp und Region in den Jahren 2019 - 2022 (N-BGA) sowie 2023 (G-BGA).....	80
Abbildung 7-4:	Jährliches Methanpotenzial nach Biomassetyp, -herkunft und Eignung zur Energiegewinnung in den unterschiedlichen Szenarien.....	85
Abbildung 7-5:	Technisches Potenzial von unbeschränkter Grünfutter-Biomasse im Ist-Stand je Landkreis.....	91
Abbildung 7-6:	Technisches Potenzial von beschränkter Grünfutter- und Marktfrucht-Biomasse im Ist-Stand je Landkreis.....	92
Abbildung 7-7:	Technisches Potenzial von Nebenprodukten im Ist-Stand je Landkreis.....	93
Abbildung 7-8:	Technisches Potenzial von Wirtschaftsdüngern im Ist-Stand je Landkreis.....	94
Abbildung 7-9:	Ist-Stand des technischen Mengenpotenzials von Stoffströmen für die Biogaserzeugung aus der Abfallwirtschaft in Bayern	97
Abbildung 7-10:	Ist-Stand des technischen Methanpotenzials aus der Abfallwirtschaft in Bayern als Summe aus fünf Stoffströmen (in m ³ /a)	98
Abbildung 7-11:	Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft in Bayern und im Jahr 2021 für die Biogaserzeugung bereits genutzter Anteil	99
Abbildung 7-12:	Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft (Summe von fünf Stoffströmen) im Ist-Stand je Landkreis	102
Abbildung 7-13:	Technisches Methanpotenzial aus Biogut im Ist-Stand je Landkreis.....	103
Abbildung 7-14:	Technisches Methanpotenzial aus der Organik im Hausmüll im Ist-Stand je Landkreis	104
Abbildung 7-15:	Technisches Methanpotenzial aus krautigem Grüngut im Ist-Stand je Landkreis.....	105
Abbildung 7-16:	Technisches Methanpotenzial aus gewerblichen Lebensmittelabfällen im Ist-Stand je Landkreis	106
Abbildung 7-17:	Technisches Methanpotenzial aus vergärbarem Landschaft- & Straßenpflegematerial im Ist-Stand je Landkreis.....	107
Abbildung 7-18:	Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft in Bayern in drei Szenarien 2030 im Vergleich zum Ist-Stand 2021.....	108
Abbildung 7-19:	Genutztes Methanpotenzial auf Landkreisebene.....	111

Abbildung 7-20:	Jährliches genutztes Methanpotenzial aus BGA und BGAA in Bayern in den unterschiedlichen Szenarien.....	112
Abbildung 7-21:	Jahresarbeit aus BGA und BGAA in Bayern in den unterschiedlichen Szenarien.....	112
Abbildung 7-22:	Anzahl der BGA und BGAA in Bayern in den unterschiedlichen Szenarien.....	112
Abbildung 7-23:	Installierte elektrische BGA-Leistung (inkl. BGAA) in den unterschiedlichen Szenarien.....	112
Abbildung 8-1:	Screenshot des Tabellenblattes zur Gesamtmethanmenge im Ist- Zustand des Basisjahres	115
Abbildung 9-1:	Freies Methanpotenzial im Ist-Zustand.....	117

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1:	Kategorisierung landwirtschaftlicher Biomasse nach Herkunft und zukünftiger Verfügbarkeit für die Biogaserzeugung.....	30
Tabelle 6-2:	In der Potenzialberechnung berücksichtigte Tierkategorien mit jeweiligem INVEKOS-Code (Stand 2023).....	41
Tabelle 6-3:	Annahmen zur energetischen Nutzbarkeit von Biomasse, welche nicht mehr in der Tierhaltung benötigt wird.....	47
Tabelle 6-4:	Übersicht der Annahmen für die Haupteinflussfaktoren auf die Veränderung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Szenarien für das Jahr 2030.....	49
Tabelle 6-5:	Zusätzliche Anpassung der jährlichen Änderungsrate des Anteils der durch produktionseinschränkende Maßnahmen nicht verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzflächen in einer Gemeinde	52
Tabelle 6-6:	Definition der betrachteten Stoffströme aus dem Bereich der Abfallwirtschaft für die Berechnung der Biogaspotenziale.....	56
Tabelle 6-7:	Betrachtete Stoffströme aus dem Bereich der Abfallwirtschaft für die Berechnung der Biogaspotenziale sowie Herkunft und regionale Ebene der dazugehörigen Mengendaten	57
Tabelle 6-8:	Berechnungsschritte für die Mengen der fünf betrachteten Stoffströme aus der Abfallwirtschaft von den Rohdaten bis zur Ist-Menge für jede Kommune	58
Tabelle 6-9:	Organikanteile im Hausmüll je nach Siedlungsstruktur.....	59
Tabelle 6-10:	Spezifische Flächen mit vergärbarem Landschafts- & Straßenpflegematerial in ha pro km ² Gesamtfläche einer Kommune je nach Siedlungsstruktur	60
Tabelle 6-11:	Verwendete Biogasausbeuten und Methangehalte der betrachteten fünf Stoffströme aus der Abfallwirtschaft für die Berechnung der Methanpotenziale.....	60
Tabelle 6-12:	Zielwerte für maximale Anteile an Bioabfall im Restmüll in Rheinland-Pfalz bis 2023 [30]	62
Tabelle 6-13:	Steigerung der Anschlussquote (ASQ) an die Biotonne bis 2030 in drei Szenarien	66
Tabelle 6-14:	Reduzierung der Organik im Hausmüll (OHM) bis 2030 in drei Szenarien.....	67
Tabelle 6-15:	Reduzierung von Lebensmittelabfällen aus Privathaushalten bis 2030 in drei Szenarien	67
Tabelle 6-16:	Steigerung der getrennten Erfassung von krautigem Grüngut bis 2030 in drei Szenarien	68
Tabelle 6-17:	Reduzierung von gewerblichen Lebensmittelabfällen bis 2030 in drei Szenarien.....	68

Tabelle 6-18:	Entwicklung des technisch nutzbaren Potenzials von vergärbarem Landschafts- & Straßenpflegematerial bis 2030 in drei Szenarien.....	69
Tabelle 7-1:	Eigenschaften der unterschiedlichen Anlagentypen zur Biogasproduktion	76
Tabelle 7-2:	Hochgerechneter Biomasseverbrauch und Biomassepotenzial (im Ist-Stand) nach Substrattyp in Bayern.	82
Tabelle 7-3:	Methanproduktion und Methanpotenzial der gesamten landwirtschaftlichen Biomasse in den unterschiedlichen Szenarien	86
Tabelle 7-4:	Zuordnung der kreisfreien Städte zu den Landkreisen in Bayern.....	88
Tabelle 7-5:	Beispiel der Bilanzierung und Umverteilung von beschränkter Biomasse am Beispiel von Maissilage für drei Gemeinden im Landkreis Freising im Ist-Stand.	89
Tabelle 7-6:	Technisches Methanpotenzial im Ist-Stand je Landkreis und Biomassetyp.....	95
Tabelle 7-7:	Verwendete Biogasausbeuten und Methangehalte der betrachteten fünf Stoffströme aus der Abfallwirtschaft für die Berechnung der Methanpotenziale.....	98
Tabelle 7-8:	Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft im Ist-Stand je Landkreis und Stoffstrom.....	99
Tabelle 7-9:	Gemeinden mit dem größten genutzten Biogaspotenzial (BGA + BGAA) in Bayern.....	109
Tabelle 7-10:	Genutztes Biogaspotenzial (BGA + BGAA) im Ist-Stand je Landkreis.....	110
Tabelle 7-11:	Technisches Biogaspotenzial in Bayern.....	113

Abkürzungsverzeichnis

AGS	Amtlicher Gemeindeschlüssel
ASQ	Anschlussquote
BDE	Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaften e.V.
BGA	Biogasanlage
BGAA	Biogasaufbereitungsanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMP	Biochemisches Methanpotenzial
BNetzA	Bundesnetzagentur
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.
C.A.R.M.E.N. e.V.	Centrales Agrar-Rohstoff Marketing und Energie-Netzwerk
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
EEG	Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien – Erneuerbare-Energien-Gesetz
Ew	Einwohner
FM	Frischmasse
FvB	Fachverband Biogas e.V.
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
G-BGA	Biogasanlage, die überwiegend bzw. ausschließlich Wirtschaftsdünger einsetzt
GLÖZ	Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand
GPS	Ganzpflanzensilage
HNV	Verhältnis zwischen Haupt- und Nebenprodukt
IBS	Inbetriebsetzung
IEE	Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KULAP	Kulturlandschaftsprogramm
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfStat	Bayerisches Landesamt für Statistik
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LMA	Lebensmittelabfälle
LWG	Landesanstalt für Wein- und Gartenbau
MaStR	Marktstammdatenregister
Mg	Megagramm (= 1 Tonne)
NABU	Naturschutzbund Deutschland e.V.
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
N-BGA	Biogasanlage, die überwiegend NawaRo einsetzt
Nm ³	Normkubikmeter
OHM	Organik im Hausmüll
örE	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
PflAbfV	Bayerische Pflanzenabfall-Verordnung
SDG	Sustainable Development Goals

StMELF	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus
StMUV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
TFZ	Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VNP	Vertragsnaturschutzprogramm
WI	Witzenhausen-Institut

Potenzialdefinition

Nach Kaltschmitt, 2001 [1]

- **Technisches Potenzial:** Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Beachtung vorhandener Beschränkungen nutzbar ist. Die Beschränkungen können u.a. technischer, struktureller oder gesetzlicher Natur sein.
- **Wirtschaftliches Potenzial:** Anteil am technischen Potenzial, der wirtschaftlich erschließbar ist. Aufgrund vielseitiger Betrachtungsweisen und ständiger Veränderungen ist es nur schwer quantifizierbar.
- **Erschließbares Potenzial:** Anteil am technischen Potenzial, das nutzbar ist. Aufgrund von Rahmenbedingungen kann dieses kleiner oder größer als das wirtschaftliche Potenzial sein. Wie beim wirtschaftlichen Potenzial bestehen auch beim erschließbaren Potenzial erhebliche Unsicherheiten.

Begriffsdefinition

- **Methanpotenzial:**
In diesem Bericht werden Methanpotenziale aus biogenen Quellen (Landwirtschaft, Abfallwirtschaft) als Methanpotenziale und nicht als Biomethanpotenziale bezeichnet, da der Begriff „Biomethan“ allgemein ein aufbereitetes Biogas beschreibt, das nach der Aufbereitung (Trocknung, CO₂-Abscheidung und Entschwefelung) die gleichen verbrennungstechnischen Eigenschaften wie Erdgas aufweist. Da der Methangehalt in Biogas je nach verwendeter Biomasse aber auch abhängig von Verfahren schwankt, wurden bewusst auf die Aufführung von Biogasmengen verzichtet und stets konsequent in Methanmengen umgerechnet.
- **m³ (zur Angabe von Gasmengen):**
Die im Bericht in „m³“ angegebenen Gasmengen beziehen sich auf Normbedingungen bei 273,15 K und 101,325 kPa

1 Zusammenfassung

Im Energie-Atlas Bayern, als zentrale Informationsplattform der Bayerischen Staatsregierung zum Thema Energiewende, ist es möglich, neben anderen Erneuerbaren Energie (EE) -potenzialen auch das Biogaspotenzial gemeindescharf zu betrachten. Hier findet sich mit dem Mischpult „Energimix Bayern vor Ort“ ein interaktives Tool zur kommunalen Energienutzungsplanung.

Die Bestimmung dieses technischen Potenzials¹ für Biomasse ist eine der komplexesten Aufgaben aller EE-Potenzialbestimmungen. Im Bereich der Bioenergie ist im Gegensatz zur Wind- und Solarenergie stets nicht nur das bereit gestellte Energiepotenzial zu betrachten, sondern auch das zur Verfügung stehende Biomassepotenzial für andere spezifische Verwertungspfade. Eine hohe Bandbreite an möglichen Einsatzstoffen, die aus der Land- und Abfallwirtschaft kommen, unterliegt zahlreichen Nutzungskonkurrenzen sowie wirtschaftlichen und politischen Einflüssen.

Aber auch die Nutzung der bereit gestellten Energie ist komplex. Das aus diesen Stoffen generierte Biogas kann in mehreren Sektoren (Strom, Wärme, Mobilität, stoffliche Verwertung) genutzt werden, wobei auch diese Nutzungspfade wirtschaftlichen und politischen Einflüssen unterliegen.

Zur Bestimmung des Biogaspotenzials, das in einer Kommune verfügbar ist, ist es also erforderlich, einerseits das aus der Land- und Abfallwirtschaft bereitstellbare Biogaspotenzial, ebenso wie das in den verschiedenen Sektoren genutzte Biogaspotenzial zu bestimmen.

Als Basis des Biogaspotenzials im Energieatlas Bayern diene eine Erhebung, die im Rahmen der Dissertation von Dr. Stefan Rauh im Jahr 2010 vorgenommen wurde [2]. Aufgrund zahlreicher Änderungen im Kontext der Biogasbereitstellung ist es erforderlich geworden, die Datenbasis grundsätzlich zu aktualisieren und so aufzustellen, dass künftige Entwicklungen leichter eingepflegt werden können, indem verschiedene, mögliche Entwicklungen in Form von Szenarien betrachtet werden. Der Ist-Zustand als „Status Quo“ sowie der Ausblick auf eine Periode von mindestens 5 Jahren mit Annahmen, die sich auf das technische Biogaspotenzial auswirken, in den Ausprägungen: Niedrig, Mittel und Hoch. Diese Aufgabe wurde 2022 durch das LfU ausgeschrieben. Ein Konsortium, bestehend aus der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), zuständig für die Ermittlung der landwirtschaftlichen Potenziale, dem Witzenhausen-Institut (WI), zuständig für die Ermittlung der Potentiale aus der Abfallwirtschaft und dem Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE), zuständig für die genutzten Potenziale, wurde hierzu beauftragt.

Aufgrund der hohen Zahl der möglichen Einflussfaktoren auf das Ergebnis wurde zu Beginn des Projektes eine Stakeholderbefragung sowie ein Workshop mit verschiedenen Stakeholdern durchgeführt. Ziel war es, möglichst quantitativ verwertbare Einschätzungen des Einflusses von Zielen, Vorgaben und Regelungen aus Land- und Abfallwirtschaft, Umwelt- und Naturschutz, Technik und Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und Industrie zu erhalten, die sich auf das technische Biogaspotenzial auswirken. Auch während der weiteren Projektlaufzeit unterhielten die Projektbearbeiter einen intensiven Austausch mit den involvierten Stakeholdern.

¹ Technisches Potenzial: Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Beachtung vorhandener Beschränkungen nutzbar ist. Die Beschränkungen können u.a. technischer, struktureller oder gesetzlicher Natur sein.

Für die Bestimmung der landwirtschaftlichen Potenziale wurde durch die LfL eine sehr große Substratvielfalt (48 verschiedene Biomassen) und eine Fülle an Einflussfaktoren (u.a. Entwicklung der Tierhaltung, der Erträge, der Produktionseinschränkungen) betrachtet. Für die Abschätzung der Tierhaltung in 2030 wurde der historische Trend in der Tierhaltung extrapoliert. Weiterhin wurden regionale Unterschiede in der Pflanzenproduktion (Flächennutzung und Ertrag), in der Tierhaltung (Haltungsformen und Biomassebedarf zu Futter- und Einstreuzwecken) und in der Biogasproduktion (Methanerträge und Substratmischungen) in die Potenzialbestimmung mit einbezogen. Ein wesentlicher Punkt bei der Berechnung der Biomasseproduktion aus der Pflanzenproduktion ist, dass Produktionseinschränkungen zum Zweck des Umwelt- und Naturschutzes berücksichtigt wurden. Dazu wurde eine nachvollziehbare und einfache Methode entwickelt, die sich an den Ausgleichszahlungen orientiert, die Landwirte für die Umsetzung von Maßnahmen des KULAP und VNP erhalten. Diese Maßnahmen erbringen positive Leistungen im Hinblick auf Biodiversität und Artenvielfalt, Boden- und Gewässerschutz, Klimaschutz sowie Erhalt der Kulturlandschaft. Bei der Berechnung der Biomassepotenziale für 2030 wurde auch berücksichtigt, dass eine Änderung in den freiwillig umgesetzten Umwelt- und Naturschutzmaßnahmen möglich ist. Darüber hinaus fließen Annahmen zum Flächenbedarf für Siedlungs- und Verkehrswege, sowie zur Wiedervernässung von aktuell landwirtschaftlich genutzten Moorflächen ein.

Bei der Berechnung des Potenzials aus pflanzlicher Biomasse wurde ein neues Verfahren entwickelt, um den gezielten Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen auf Ackerland (NawaRo, z.B. Silomais, Getreide-GPS, Getreidekorn) nicht auszudehnen, sondern auf dem Status quo festzulegen. Im Folgenden wird diese Biomasse als "beschränkte Biomasse" bezeichnet. Biomasse von Dauergrünland oder Biomasse von Zwischenfrüchten und Dauerkulturen (Gras, Klee, Gras, Grünroggen, Silphie), für die es außer in der Tierhaltung und in der Biogasproduktion keine Verwertungsalternative gibt, wird als "unbeschränkte Biomasse" bezeichnet. Dadurch ist die Grundlage für eine differenzierte Darstellung gelegt, die dazu dienen soll, den aktuellen und zukünftigen Beitrag von pflanzlicher Biomasse aus der Landwirtschaft zur Biogaserzeugung fundiert einzuordnen. Bei Nebenprodukten und Wirtschaftsdüngern wurde angenommen, dass abgesehen von Getreidestroh zu Einstreuzwecken kurzfristig keine Verwertungsalternativen für diese Biomassen großtechnisch verfügbar sind. Insgesamt steht damit ein technisches Biomassepotenzial von 60,9 Mio. Tonnen Frischmasse aus der Landwirtschaft zur Verfügung, wovon bereits 41,5 Mio. Tonnen auf Wirtschaftsdünger und 4,9 Mio. Tonnen auf Nebenprodukte entfallen. Das Potenzial beschränkter Biomasse beträgt 10,7 Mio. Tonnen Frischmasse und wurde anhand der aktuellen Energieproduktion aller landwirtschaftlichen Biomasseanlagen hochgerechnet. Die restlichen 3,8 Mio. Tonnen umfassen unbeschränkte Biomasse.

Aktuell werden etwa 1.689 Mio. m³ Methan aus landwirtschaftlichen Substraten gewonnen. Auf Grundlage der aus den verfügbaren Daten zur Flächennutzung und zur Tierhaltung ermittelten Massenpotenziale ergibt sich ein technisches Potenzial von 3.026 Mio. m³. Es lässt sich schlussfolgern, dass im Ist-Stand die Produktion von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten um fast 80 % gesteigert werden kann. Für diese Steigerung ist eine Ausdehnung des Anbaus von NawaRo **nicht** erforderlich. Zur Steigerung tragen im Wesentlichen Wirtschaftsdünger und Nebenprodukte mit einem ungenutzten Potenzial von 636 Mio. m³ Methan bzw. 581 Mio. m³ Methan bei. Zusätzlich könnten durch bisher ungenutzte, unbeschränkte Biomasse weitere 120 Mio. m³ Methan erzeugt werden. Aus diesen zusätzlichen 1.337 Mio. m³ Methan würde sich bei üblichen Anlagen eine Strommenge von ca. 5,2 TWh sowie eine Wärmemenge von 5,6 TWh bereitstellen lassen.

Im Bereich der biogenen Abfallstoffe wurden durch das WI aktuelle Vorgaben hinsichtlich der Vermeidung von Lebensmittelabfällen ebenso wie die Bestrebung der Erhöhung der getrennten Erfassung biogener Abfallmengen in Betracht gezogen. Da einige Daten nur regional und nicht gemeindescharf verfügbar waren, wurden diese auf Gemeindeebene umgerechnet.

Im Bereich der Abfälle aus Landschafts- und Straßenpflege wurden aktuelle Potenzialerhebungen auf Landesebene berücksichtigt. Abfallwirtschaftliche Stoffströme, die zum bayerischen Biogaspotenzial beitragen können, sind Biogut (biogene Abfälle aus der Biotonne), Bioabfälle im Hausmüll (nicht getrennt erfasst), krautiges Grüngut, gewerbliche Lebensmittelabfälle sowie Landschafts- und Straßenpflegematerial. Insgesamt handelt es sich hier um ein technisches Potenzial von ca. 3,3 Mio. Tonnen Frischmasse bzw. um ein Methanpotential von 205 Mio. m³. Derzeit werden hiervon ca. 85 Mio. m³ (überwiegend als Biogas) genutzt. Beim Biogut und den gewerblichen Lebensmittelabfällen findet bereits heute eine große Nutzung des technischen Potenzials statt. Insgesamt zeigt sich, dass das technische Potenzial aus landwirtschaftlichen Substraten etwa um den Faktor 15 höher ist als das aus abfallwirtschaftlichen Stoffströmen.

Die Ausweitung des Potenzials an vergärbaren Abfallströmen steht allerdings im Zielkonflikt mit den abfallwirtschaftlichen Zielen und Vorgaben, die eine Reduzierung des organischen Abfallaufkommens beinhalten. Insbesondere eine Reduzierung der Lebensmittelabfälle sowie die Abfallvermeidung stehen im Vordergrund. Vor diesem Hintergrund ist mittelfristig eher von einem Rückgang des technischen Potenzials an vergärbaren Abfällen auszugehen. Die Nutzungsquote des technischen Potenzials kann durch eine bessere Erfassung der Bioabfälle und vorrangiger Biogaserzeugung weiter gesteigert werden. Hierbei steht die Erschließung des Potenzials an organischen Abfällen im Hausmüll im Vordergrund.

Bei der Bestimmung des genutzten Potenzials griff das IEE auf verschiedene Datenquellen zu, die im Kontext des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG) erhoben werden und die bundesweite Strom- und Biomethanproduktion abbilden. Diese wurden mit Daten des LfU und des WI abgeglichen, weil nicht alle relevanten Biogasmengen über die Erhebungen des EEG erfasst werden. Insbesondere ergibt sich zunehmend die Problematik, dass derzeit signifikante Mengen an Biomethan in den Kraftstoffmarkt fließen und deshalb von den EEG-Erhebungen nicht mehr erfasst werden. Diesem Umstand wurde durch eine gesonderte Betrachtung des Biomethans über die Erfassung von Anlagendaten Rechnung getragen.

Die Projektpartner haben die Vorgehensweisen ihrer jeweiligen Potenzialbestimmungen in diesem Abschlussbericht dokumentiert und in eigenen Tabellenwerken erfasst, die nach den unterschiedlichen Stoff- bzw. Energiemengen differenziert sind. Primärschlüssel dieser Datensätze ist jeweils der amtliche Gemeindeschlüssel (AGS). Alle Potenziale wurden dann in einer zentralen Tabelle zusammengeführt, die vom LfU in das Mischpult integriert und ggf. auch für die Erstellung weiterer Potenzialkarten genutzt werden kann. Entgegen der ursprünglich adressierten Zielsetzung die Einheit [kWh_{el}/a] als Übergabegröße der verschiedenen Potenziale zu verwenden, wurde der zunehmenden Verwendung von Biogas auch außerhalb der Stromproduktion Rechnung getragen und die Potenziale in m³ Methan bei Normbedingungen pro Jahr, im Folgenden vereinfacht dargestellt durch die Einheit Kubikmeter (m³) dargestellt.

Die drei Szenarien zeigen die möglichen Entwicklungen in niedrigem, mittlerem und hohem Umfang nach breiter Abstimmung mit den verschiedenen Experten (Stakeholdern) auf. Sie sind in Form von prozentualen Änderungen der Potenziale so angelegt, dass sich beispielsweise durch abweichende

politische Entwicklung ergebende Änderungen leicht nachpflegen lassen. Da im Mischpult derzeit die Energiemenge in kWh_{el} verwendet wird, ist die Rückrechnung dann mittels des im Projekt verwendeten durchschnittlichen Wirkungsgrades von 39,1% durchzuführen.

Als Kernergebnis lässt sich feststellen, dass trotz umfangreichem Wandel in der Land- und Abfallwirtschaft in Bayern auch unter Berücksichtigung von strengen Nachhaltigkeitskriterien eher ein größeres Biogaspotenzial vorhanden ist als derzeit angenommen wurde. Dies eröffnet die Möglichkeit, dass zusammen mit dem wachsenden Bedarf an den hieraus erzielbaren Energiemengen in allen Sektoren die Nutzung dieser Potenziale mit Biogasanlagen weiterhin erfolgt und ggf. sogar gesteigert werden kann, sofern dies dem politischen Willen entspricht.

Insgesamt wurde mit dieser Arbeit die Datenbasis für den Energie-Atlas Bayern und für das Mischpult deutlich verbessert und die Nutzbarkeit der Daten auch beispielsweise zur Erstellung von Potenzialkarten für die nächsten Jahre sichergestellt, so dass bis auf die kommunale Ebene eine aktualisierte Orientierungshilfe für die Entwicklung der Biogasnutzung auch unter Berücksichtigung der noch über den heutigen Stand hinausgehenden Naturschutzbelange gegeben ist.

2 Motivation und Ziele des Vorhabens

Der Energie-Atlas Bayern ist die zentrale Informationsplattform der Bayerischen Staatsregierung zum Thema Energiewende. Neben einem informativen Textteil gibt es einen umfangreichen Kartenteil, z. B. mit Potenzialkarten und interaktiven Tools, z. B. dem Mischpult „Energiemix Bayern vor Ort“. Mit dem Mischpult können Kommunen einen leichten Einstieg in die Energienutzungsplanung finden und den aktuellen sowie künftig möglichen Energiemix aus erneuerbaren Energien für ihre Gemeinde, ihren Landkreis oder für einen interkommunalen Zusammenschluss analysieren. Die Auswahl eines Regierungsbezirks bzw. ganz Bayerns ist im Mischpult ebenfalls möglich. Biomasse als transportables Gut kann auch außerhalb des Gemeindegebietes genutzt werden. Eine raumbezogene Bilanzierung und Darstellung möglichst auf Gemeindeebene soll helfen, Chancen der interkommunalen Zusammenarbeit in der Energienutzungsplanung aufzuzeigen.

Neben dem Ausbaustand erneuerbarer Energien in den Sektoren Strom und Wärme werden im Mischpult auch die technischen Potenziale für alle bayerischen Kommunen aufgezeigt, z. B. das technische Stromerzeugungspotenzial der Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse in Biogasanlagen (Biogas-Stromerzeugungspotenzial) sowie das technische Wärmeerzeugungspotenzial der Abwärmenutzung von Biogasanlagen (Biogas-Wärmeerzeugungspotenzial).

Die Potenziale sollen aktualisiert und aufgrund neuer Entwicklungen neu erhoben werden. Die Daten werden auf Gemeindeebene ausgewiesen. Die Zuordnung erfolgt anhand des amtlichen Gemeindeschlüssels (AGS) und in der Einheit Normkubikmeter Methan pro Jahr [m³/a]. Sie werden als Excel- oder CSV-Datei übermittelt. Potenzialkarten zum Biogas-Potenzial liegen im Energie-Atlas Bayern bisher nicht vor. Anhand der neuen Daten aus diesem Vorhaben können diese künftig erstellt werden.

3 Datengrundlagen

Die detaillierte Beschreibung der methodischen Vorgehensweise erfolgt unter Kapitel 6. Die grundsätzliche Methodik der Datenakquisition und Informationsbeschaffung basiert auf mehreren Elementen, die nachfolgend zusammenfassend beschrieben werden. Die ausgewerteten Informationen beinhalten sowohl öffentlich verfügbare als auch nicht öffentlich verfügbare Quellen.

3.1 Verwendete Daten

Zu den öffentlich verfügbaren Daten- und Informationsquellen, welche, in Abhängigkeit der Zielstellung des jeweiligen Arbeitspaketes, ausgewertet wurden, zählen insbesondere:

- Datenbestände der BNetzA, insbesondere aus dem Marktstammdatenregister (MaStR) zu Biogasanlagen in Bayern
- Stamm- und Bewegungsdaten der Übertragungsnetzbetreiber zu Biogasanlagen in Bayern
- Eigener Datenvorrat des LfU, basierend u. a. auf dem MaStR und den Stamm- und Bewegungsdaten
- Daten des Bayerischen Landesamtes für Statistik zu Agrarstruktur und Abfallbilanzen
- EEG-Erfahrungsberichte, im Speziellen Berichte, welche die Teilvorhaben zu Biogasnutzung betreffen
- Abfallbilanzen Bayern
- Daten des Statistischen Bundesamts und des Thünen-Instituts zu Lebensmittelabfällen
- Daten der LfL zu
 - Wirtschaftsdüngeranfall von Nutztieren
 - Erträgen
 - Haupt-Nebenproduktverhältnissen landwirtschaftlicher Kulturen
 - Futterbedarf von Nutztieren
- Daten des TFZ zu Erträgen von Energiepflanzen
- Daten des DBFZ zur Bergequote von Getreidestroh
- Daten des KTBL zu Methanausbeuten und TS-Gehalten von Substraten
- Daten des Biogas Forums Bayern zu Potenzialen von Landschaftspflegematerial
- Daten der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau zu Potenzialen von Straßenpflegeabfällen

Die nicht öffentlich verfügbaren Informationen teilen sich auf in:

- Datenbestände und Informationen des LfU, welches über umfangreichere und detailliertere Datenbestände verfügt, die jedoch nicht vollumfänglich öffentlich vorliegen. Hierzu zählen u. a.:
 - Moorbodenkarte Bayern (Anmoore, Nieder- und Hochmoore)
 - Abfallwirtschaftliche Daten (z. B. Anschlussquoten)
- Daten des Technologie- und Förderzentrum (TFZ) zu Biomasseerträgen
- Daten der LfL zu Haltungsformen von Nutztieren
- Weitere Datenbestände von Marktakteuren mit Multiplikatorwirkung, z.B.:
 - Branchenverbände
 - Umweltgutachter

- Stammdaten Biogasanlagen zur Vervollständigung
- Substrateinsatz in bayerischen Biogasanlagen
- Stromkennzahlen
- Wärmenutzung
- Datenbestände, deren Zugang an der LfL als assoziiertem Projektpartner beim StMELF für die Projektbearbeitung beantragt werden können:
 - InVeKoS Daten (insbesondere Flächeninformationen zu Nutzungsarten und Agrarumwelt- sowie Vertragsnaturschutzmaßnahmen)

3.2 Stakeholderbefragungen / -Workshops

Es sollte nicht nur der Ist-Zustand des Biogaspotenzials als „Status Quo“ bestimmt werden, sondern auch 3 Zukunftsszenarien für das Biogaspotenzial mit einem Ausblick auf eine Periode von mindestens 5 Jahren in den Ausprägungen: „Niedrig“, „Mittel“ und „Hoch“. Um dafür die Einschätzungen der Stakeholder in ausreichendem Maße zu berücksichtigen und gleichzeitig ein gemeinsames Verständnis der Aufgabenstellung zu erreichen, wurden zwei Workshops geplant.

Erster Workshop: 31. Januar 2023

In Vorbereitung zum ersten Stakeholder Workshop wurden die wesentlichen Aspekte der Potenzialerhebung sowie die angestrebte methodische Vorgehensweise von den Auftragnehmern ausgearbeitet und an eine Auswahl von Stakeholdern mit der Bitte sich Aspekte und Einflussfaktoren auf die Potenzialbestimmungen zu überlegen, versandt.

Ziel dieses ersten Workshops war es, die Stakeholder über die Projektziele und -vorgehensweisen zu informieren, um deren Meinungen und Einschätzungen sowie Anregungen zu erfahren. Insbesondere die folgenden Punkte wurden diskutiert:

- Sind die wesentlichen Substrate/Eingangsstoffe berücksichtigt? (Falls bestimmte Substrate z. B. aufgrund fehlender Daten nicht einfließen können, wurde dies mitgeteilt).
- Ist das Potenzial der verschiedenen Substrate jeweils im gewünschten Potenzialbegriff ausgewiesen? Ziel soll die Ausweisung eines technischen Stromerzeugungspotenzial sein, in das wirtschaftliche und ökologische Aspekte einfließen.
- Sind die Szenarien so gewählt, dass die Ergebnisse von den unterschiedlichen Akteuren und mit unterschiedlichen Sichtweisen getragen werden können? Zu klären sind hier die Einschätzungen zu Entwicklungen in der Landwirtschaft z. B. zur Tierhaltung, zu Flächenkonkurrenzen, zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Bioökonomie), zu Konkurrenzsituation von Biogas zu anderen erneuerbaren Energien, zur Verwendung von Stroh, zu künftigen Umweltstandards usw.
- Ist die gewählte Methodik zur Zuordnung der Potenziale auf Gemeinden geeignet, um eine hinreichend gute Näherung zu erreichen (werden bestehende bzw. erwartete Stoffströme korrekt abgebildet, werden Fruchtfolgen und schwankende Flächenerträge gut gemittelt)? Sind die bodenkundlichen Voraussetzungen angemessen berücksichtigt, damit die Klimabilanz positiv ist?

Durch die Vorstellung des Projektes in seiner gesamten Komplexität und die Breite der thematischen Zuständigkeit der anwesenden Stakeholder ergab sich eine Fülle von zusätzlichen Aspekten, deren Betrachtung im Projektverlauf zu erörtern war. Die Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2 zeigen zwei Fotografien von Pinnwänden, an denen die Teilnehmer des Workshops zu betrachtende Aspekte und Einflussfaktoren gesammelt haben.

Im Rahmen der Diskussionen und der Moderation der Stellwandbeiträge konnten die Einflussfaktoren in vier Cluster aufgeteilt werden.

- Zur Verfügung stehende Fläche
- Eingesetzte Kulturen
- Erzielbare Erträge
- Umfang der Tierhaltung

Die hier jeweils aufgeführten Einflussfaktoren sind vielfältig und meist nicht oder nur schwer quantifizierbar.

Im Verlauf des ersten Workshops zeigte sich, dass es erforderlich ist, über einen weiteren Workshop hinaus auch einen bilateralen Austausch zwischen verschiedenen Stakeholdern und den Projektpartnern zu organisieren, um spezifische Detailfragen beispielsweise im Kontext Abfall oder Naturschutz zu erörtern.

Durch den Workshop wurde aber den Teilnehmern die Zielsetzung und Vorgehensweise des Projektes klarer. Sie wurden gebeten, im Kontext dieser Erkenntnisse Fragebögen zu den einzelnen Themenbereichen zu beantworten und dem Projektteam zurückzusenden. Auf Basis dieser Rückmeldungen wurden der zweite Workshop bzw. auch bilaterale Gespräche vorbereitet.

Die vollständige Dokumentation und das Protokoll des Workshops liegen dem Auftraggeber vor.



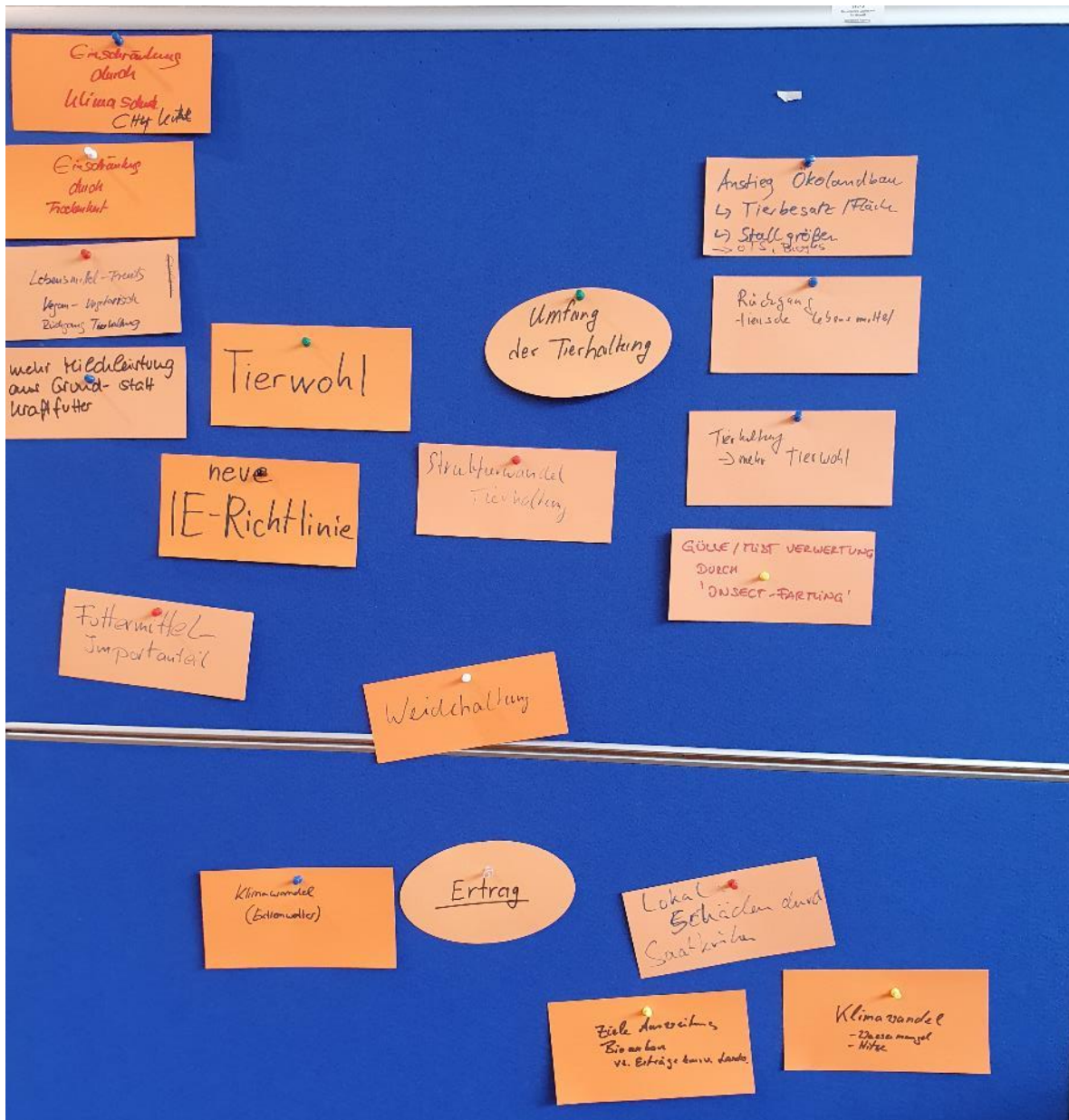


Abbildung 3-2: Fotos der Stellwand 2 mit Anmerkungen der Workshopteilnehmer

Zweiter Workshop: 13. Juli 2023

Mit den Erfahrungen des ersten Workshops und den schriftlichen Rückmeldungen der Stakeholder wurde am 13. Juli 2023 ein zweiter Workshop online durchgeführt. In diesem Workshop wurde das Thema „Potenzial aus organischen Abfällen“ nicht behandelt, da diese speziellen Fragestellungen mit den Stakeholdern bilateral geklärt werden sollten. Die für die Bearbeitung dieser Fragestellungen verantwortlichen Projektpartner des WI nahmen dennoch am Workshop teil.

Es erfolgte eine intensive Diskussion speziell zur Ermittlung der landwirtschaftlichen Potenziale. Zu diesem Zeitpunkt lagen auch die von den befragten Stakeholdern zurückgesendeten Fragebögen vor, sodass diese mit besprochen werden konnten. Es konnte eine deutliche Fokussierung der im Rahmen des Projektes zu adressierenden Einflussfaktoren erarbeitet werden. Für die weitere Abstimmung der

notwendigen Faktoren wurden zusätzlich bilaterale Termine mit dem verantwortlichen Projektpartner und verschiedenen Stakeholdern vereinbart.

Da der Bestand der Biogasanlagen sehr stark von politisch geprägten Randbedingungen beeinflusst wird, deren Auswirkung von moderaten Veränderungen bis hin zum völligen Erliegen dieser Technologie führen kann (z.B. nicht einhaltbare Emissionsgrenzwerte), wurde entschieden, die Vorgehensweise zu ändern. Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung, die verschiedenen Einflussfaktoren zu detaillieren und ihre quantitative Auswirkung auf Anlagenzahl, el. Leistung und el. Jahresarbeit und letztlich das genutzte Methanpotenzial einzeln zu bestimmen, wurde festgelegt, die zu betrachtenden Einflüsse zusammenzufassen und anhand pauschalisierter Prozentwerte für die drei Szenarien zu beschreiben.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Fragestellungen rund um die verschiedenen Potenzialermittlungen (Landwirtschaft, organische Abfälle und Anlagenbestand) so komplex sind, dass die Vorgehensweise nicht, wie ursprünglich geplant, mit Abschluss eines zweiten Stakeholder Workshops vollständig abgestimmt werden konnte.

Alle drei Teilprojektteams haben daher in Folge noch weitere Gespräche mit verschiedenen Stakeholdern durchgeführt. Weiterhin erfolgten in regelmäßigen Projekttreffen Abstimmungen mit dem Auftraggeber.

In Kapitel 6 werden die in den einzelnen Teilprojekten letztlich angewendeten Annahmen und Vorgehensweisen detailliert beschrieben.

4 Szenarien

Nachfolgend werden die drei vorgeschlagenen Szenarien beschrieben. Neben einem Basisszenario, das die Fortschreibung des Status Quo beschreibt, also neutral ist, soll das Potenzial für zwei weitere Szenarien berechnet werden, bei denen sich die Rahmenbedingungen entweder so verändern, dass eine Entwicklung hin zu mehr Biogas unterstützt wird, oder so, dass eine Entwicklung stärker eingeschränkt wird. Im Folgenden werden diese Szenarien benannt:

- Niedrig
- Mittel
- Hoch

Der Begriff „Potenzial“ bezieht sich hier immer auf das technische Biogaspotenzial, so wie es im Methodenhandbuch des Forschungsnetzwerks Bioenergie des Bundeswirtschaftsministeriums definiert ist. [3] Demnach beschreibt es „den Teil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen (z. B. Bergungsrate, Konversionsverluste) nutzbar ist. Zusätzlich dazu werden die gegebenen strukturellen und gesetzlich verankerten ökologischen oder andere Begrenzungen berücksichtigt, da sie letztlich auch – ähnlich den technisch bedingten Einschränkungen – „unüberwindbar“ sind (z. B.: gesetzlich verankerte (Natur-) Schutzgebiete, rechtlich/administrativ: Cross-Compliance-Regelungen, gesellschaftlich: Berücksichtigung der Nahrungsmittelproduktion und der stofflichen Nutzung). Es beschreibt folglich den zeit- und ortsabhängigen, primär aus technischer Sicht möglichen Beitrag der Biomasse zur Deckung der Energienachfrage. Da das technische Potenzial wesentlich durch die technischen Randbedingungen bestimmt wird, ist es im Unterschied beispielsweise zum wirtschaftlichen Potenzial deutlich geringeren zeitlichen Schwankungen unterworfen.“

Das wirtschaftliche Potenzial beschreibt laut Methodenhandbuch „den zeit- und ortsabhängigen Anteil des technischen Potenzials, der unter den jeweils betrachteten ökonomischen Rahmenbedingungen wirtschaftlich erschlossen werden kann (dazu zählen auch Subventionen oder Umlagesysteme wie das EEG). Da sich die wirtschaftlichen Randbedingungen kurzfristig verändern können (z. B. Ölpreisänderung, Veränderung der steuerlichen Abschreibungsmöglichkeiten, Energie-, Öko-, oder CO₂-Steuer) ist das wirtschaftliche Potenzial starken zeitlichen Schwankungen unterworfen.“ Ein weiteres Potenzial, das „erschließbare Potenzial“, beschreibt dagegen „den tatsächlichen Beitrag zur Energieversorgung. Dieses Potenzial hängt von einer Vielzahl weiterer gesellschaftspolitischer und praktischer Randbedingungen ab. Ein wirtschaftliches Potenzial wird erst dann erschließbar, wenn sich Akteure zusammenfinden und alle Betroffenen dem Projekt zugestimmt haben.“

Da aufgrund der zeitlichen und örtlichen Unabhängigkeit in den meisten relevanten Potenzialstudien das technische Potenzial ausgewiesen wird, wurde auch in der hier vorliegenden Studie das technische Potenzial berechnet. Damit sind sowohl eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien als auch eine Möglichkeit zur kontinuierlichen Fortschreibung dieser Studie gegeben.

Die Mindestanforderungen an alle drei Szenarien ist, dass die heute geltenden Vorgaben zum Umweltschutz mindestens eingehalten werden und sich keinesfalls eine Verschlechterung ergibt. Die „Reichweite“ der Szenarien soll etwa fünf Jahre ab dem Basisjahr 2021 betragen, um eine hinreichende Genauigkeit der Vorausschau erzielen zu können. Da in der Abfallwirtschaft viele

politische Zielsetzungen das Jahr 2030 anvisieren, wurde hier auch diese Zeitspanne zur Betrachtung der Szenarien einbezogen.

Basisszenario „Mittel“

Zur Darstellung des gegenwärtig vorhandenen und zusätzlich erschließbaren Potenzials werden die oben genannten Daten zum Biogasanlagenbestand, der Strom- und Wärmeproduktion, den genutzten Einsatzstoffen wie Pflanzen und tierische Exkremente, aber auch organische Abfälle sowie Informationen zum Viehbestand und landwirtschaftlicher Flächennutzung usw. aktuell ausgewertet und - soweit die Datenlage dies zulässt - gemeindescharf berechnet. Weil Biogasbestandsdaten (Stamm- und Bewegungsdaten) nicht kontinuierlich vorhanden sind, ebenso wie andere Daten (z.B. organische Abfälle und landwirtschaftliche Daten wie die Agrarstrukturhebung) muss auf das zuletzt verfügbare Jahr, hier 2021, zurückgegriffen werden. Für das Szenario „Mittel“ werden insbesondere die aktuell verfügbaren Stromerzeugungsmengen aus Biogas herangezogen und basierend auf den EEG-Laufzeiten der Anlagen und deren Möglichkeiten zum Weiterbetrieb geschätzt. Außerdem werden die aktuellen Rahmenbedingungen als Ausgangsbasis genutzt, um Möglichkeiten eines weiteren Ausbaus von Biogasanlagen zu schätzen. Als Rahmenbedingungen dienen sowohl rechtliche Dokumente (z.B. EEG) als auch vorhandene Betriebsstrukturen (z.B. Betriebsgröße, Art und Umfang der Viehhaltung). Daraus lassen sich anschließend die Summen des technischen Biogaspotenzials für alle 71 Landkreise und 25 kreisfreien Städte sowie für gesamt Bayern bilden. Diese aktuellen Datensätze werden dem LfU als csv- und Excel-Dateien zur Verfügung gestellt.

Szenario „Hoch“

In diesem Szenario sollen die Potenziale berechnet werden unter der Annahme, dass durch die Änderung der Rahmenbedingungen eine Unterstützung der Biogasproduktion stattfindet. Vorschläge für unterstützende Rahmenbedingungen sind erhöhte EEG-Fördersätze, erhöhte Ausschreibungsvolumina in den EEG-Ausschreibungen für Biomasseanlagen sowie die Sonderausschreibungen für hochflexible Biomethananlagen im Süden Deutschlands, politische Zielsetzung der Erhöhung der Güllevergärung, Vereinfachungen und / oder Kostensenkungen beim Bau kleiner Gülle-basierter Biogasanlagen und Gemeinschaftsanlagen, Vergrößerung der landwirtschaftlichen Betriebe und ein Anstieg des Anbaus ökologisch wertvoller Rohstoffe (z.B. durchwachsene Silphie). Auf Basis unterschiedlicher Tendenzen ist darüber hinaus mit einer erhöhten separaten Erfassung organischer Abfälle zu rechnen, wodurch sich die Substratverfügbarkeit erhöhen wird. Im Bereich der Lebensmittelabfälle bedeutet dies aber, dass die abfallpolitischen Ziele einer Reduktion von Lebensmittelabfällen, die zu einer Reduktion des Biogaspotenzials führen würde, verfehlt werden.

Ganz wesentlich hängt die Bestimmung dieses Szenarios sowie die betrachteten Schlüsselfaktoren und deren Gewichtung von den Ergebnissen der Expertenumfragen und anschließenden Diskussion in Stakeholder Workshops ab.

Szenario „Niedrig“

In diesem Szenario wird das technische Potenzial unter der Annahme von Rahmenbedingungen geschätzt, die eine mögliche Biogasnutzung einschränken. Dabei gehen die Parameter, die im Szenario „Hoch“ genannt werden, in eine gegensätzliche Richtung. Insbesondere sollen die

schleppenden Entwicklungen in den EEG-Ausschreibungen für Biomasseanlagen und Sonderausschreibungen für hochflexible Biomethananlagen im Süden Deutschlands berücksichtigt werden. Auf der Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe wird eine Reduktion der Tierhaltung, eine Zunehmende Inanspruchnahme von landwirtschaftlich genutzter Fläche durch Siedlungs- und Verkehrsflächen und eine Zunahme freiwilliger Agrarumweltmaßnahmen (Reduktion der Produktionsintensität) angenommen. Im Bereich der organischen Abfälle wird hier davon ausgegangen, dass die Maßnahmen zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen, die geringere Tiefe der Verarbeitung von Lebensmitteln in den privaten Haushalten trotz erweitertem Erfassungsangebot zu einem Stillstand oder sogar Rückgang des Aufkommens organischer Abfälle führen.

Auch hier hängt die Bestimmung dieses Szenarios und deren Schlüsselfaktoren ganz wesentlich von den Ergebnissen der Umfrage und anschließenden Diskussion in Stakeholder Workshops ab.

Die letztlich verwendeten Annahmen werden detailliert in den Beschreibungen zu den Methoden der Datenerhebung für die einzelnen Teilpotenziale (Land-, Abfallwirtschaft, Nutzung) in Kapitel 6 beschrieben.

5 Beschreibung des Konzepts der Datenbereitstellung und -zusammenführung

Aufgabe des Projektes war es, das verfügbare technische Biogaspotenzial in Bayern gemeindescharf zu bestimmen. Es soll in die Webanwendung "Mischpult Energiemix Bayern vor Ort" integriert werden, die als Teil des "Energie-Atlas Bayern" der öffentlichen Nutzung zur Verfügung steht. Diese Webanwendung ist als Hilfsmittel für die kommunale Energienutzungsplanung gedacht. Anhand einer Karte können beliebige Verwaltungsgebiete in Bayern ausgewählt werden und es wird für diese der aktuelle Stand der Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien gegenüber dem entsprechenden technischen Potenzial dargestellt. Darüber hinaus sollen mögliche, derzeit ungenutzte Potenziale aufgezeigt werden.

Hierzu bedarf es einerseits der Bestimmung des technischen Biogaspotenzials aus den verfügbaren Biomasse-mengen aus der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft und andererseits muss hiervon das bereits genutzte technische Potenzial abgezogen werden.

Im Projekt wurde dies gemäß dem in Abbildung 5-1 dargestellten, übergeordneten Algorithmus vorgenommen.

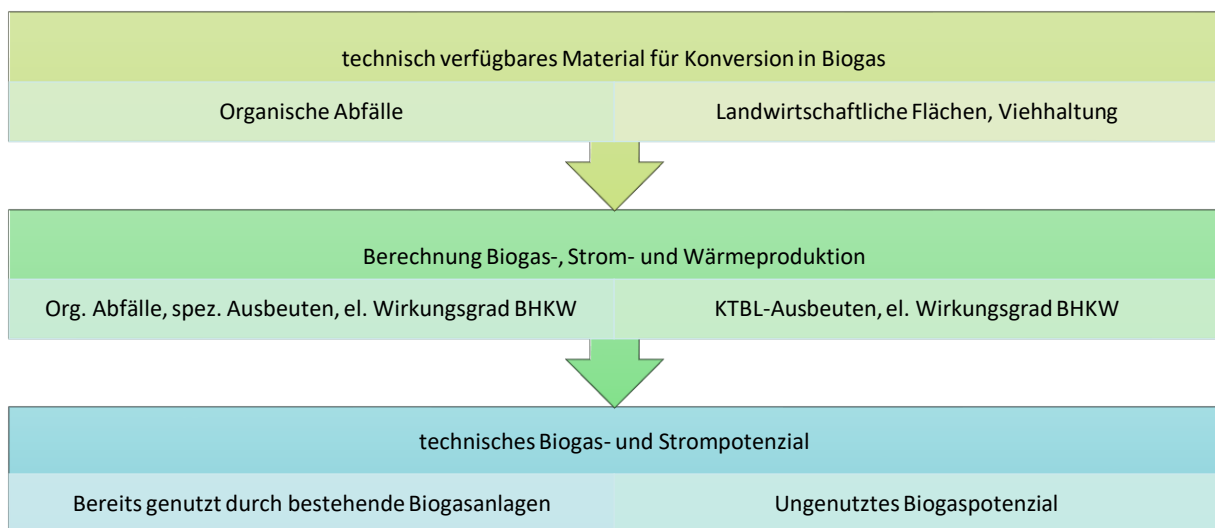


Abbildung 5-1: Übergeordneter Algorithmus

Die Berechnung der Biogaspotenziale aus der Landwirtschaft, aus organischen Abfällen, sowie die Berechnung der bereits genutzten Potenziale erfolgte gemäß der in den drei nachfolgenden Grafiken dargestellten untergeordneten Algorithmen.

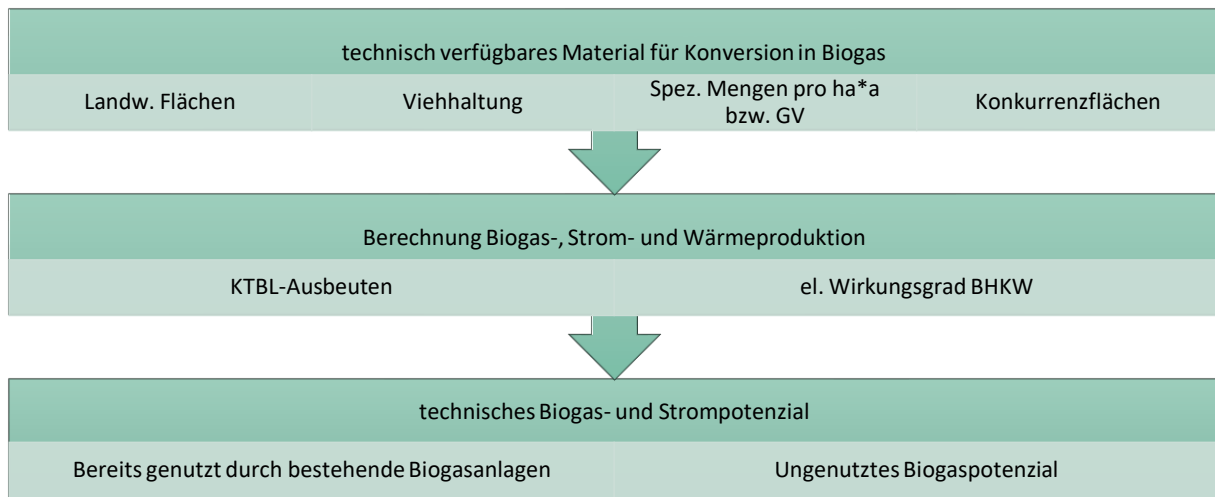


Abbildung 5-2: Untergeordneter Algorithmus zur Berechnung des Biogaspotenzials aus der Landwirtschaft

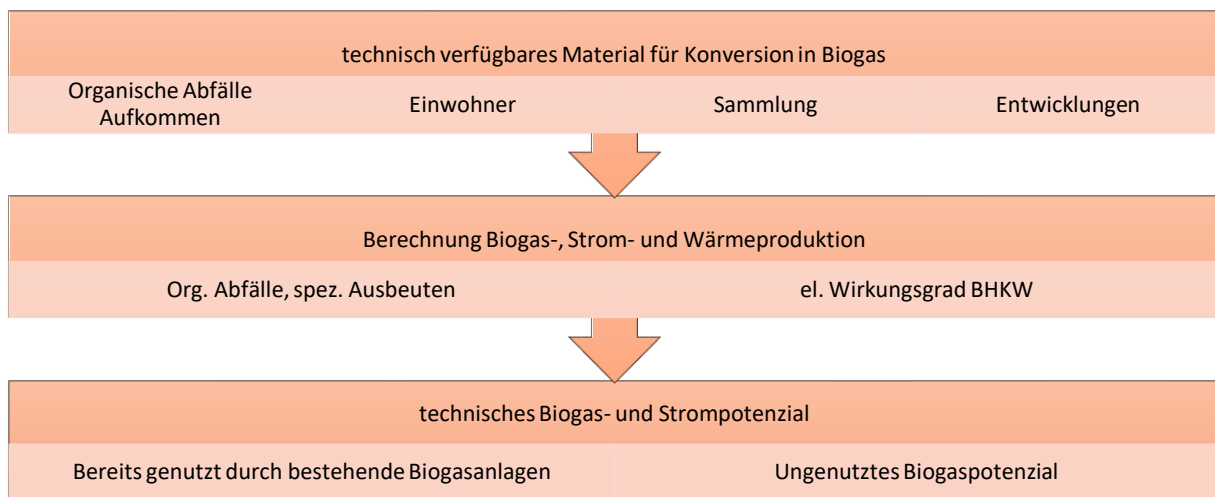


Abbildung 5-3: Untergeordneter Algorithmus zur Berechnung des Biogaspotenzials aus organischen Abfällen



Abbildung 5-4: Untergeordneter Algorithmus zur Berechnung des bereits durch Biogasanlagen genutzten Potenzials

Diese Grafiken sollen lediglich die prinzipiell angewendete Vorgehensweise verdeutlichen. Die detaillierten Vorgehensweisen und Methoden zur Berechnung der einzelnen Potenziale werden in Kapitel 6 dargestellt.

Im Resultat ergeben sich für die einzelnen Potenziale gemeindescharfe Daten über Biomassemengen, technische Biogaspotenziale, Anlagenzahlen etc., die jeweils in Tabellen mit dem Gemeindeschlüssel als Oberschlüssel geführt werden.

Um eine einheitliche Verrechenbarkeit gewährleisten zu können, wurde als gemeinsame Bezugsgröße Normkubikmeter Methan pro Jahr (m^3/a) gewählt.

Für die Darstellung der Szenarien wurden jeweils eigene Tabellen erstellt, die dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden. Hiermit soll gewährleistet werden, dass der Auftraggeber auf sich ändernde Randbedingungen in den nächsten Jahren reagieren und die Datenbasis im Mischpult anpassen kann.

6 Detaillierte Beschreibung der Datenerhebungs- und -berechnungsgrundlage der einzelnen Arbeitspakete

6.1 Biogaspotenziale aus der Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Biomasse umfasst die Biomasse, die entweder während der landwirtschaftlichen Primärproduktion gezielt erzeugt wird oder im Rahmen des Produktionsprozesses als Nebenprodukt der pflanzlichen Produktion bzw. als Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung anfällt. Gezielt erzeugte Biomasse der Primärproduktion umfasst sämtliche Arten von Grünfütter und Marktfrüchten. Landwirtschaftliche Nebenprodukte hingegen umfassen in dieser Berechnung nur Erntenebenprodukte, welche direkt im landwirtschaftlichen Betrieb anfallen. Biomassen, die in der nachgelagerten Verarbeitung (Getreideverarbeitung, Ölpflanzenverarbeitung, Kartoffelverarbeitung, Rübenverarbeitung, Milchverarbeitung, Fleischverarbeitung, Obst- und Gemüseverarbeitung, Lebensmittelverarbeitung) landwirtschaftlicher Produkte entstehen, bleiben hier unberücksichtigt. Daher wird im Folgenden der Begriff Nebenprodukt ausschließlich als Synonym für Erntenebenprodukt verwendet. Der Begriff Wirtschaftsdünger umfasst im Folgenden vor allem Gülle, Festmist und Jauche, die in der Tierhaltung anfallen und potenziell als Substrat für die Biogasproduktion genutzt werden können.

6.1.1 Bilanzierung landwirtschaftlicher Biomasse

6.1.1.1 Kategorisierung der Biomasse

Für die Berechnung des Biogaspotenzials wird die landwirtschaftliche Biomasse in vier Typen unterteilt und entsprechend ihrer Herkunft und Eignung zur Energiegewinnung kategorisiert (Tabelle 6-1). Bei der Herkunft wird unterschieden in Ackerland, Dauergrünland und Tierhaltung. Bei der Verfügbarkeit der Biomasse für die Biogasproduktion wird unterschieden zwischen „beschränkter“ und „unbeschränkter“ Nutzung.

Tabelle 6-1: Kategorisierung landwirtschaftlicher Biomasse nach Herkunft und zukünftiger Verfügbarkeit für die Biogaserzeugung

Typ	Herkunft	Verfügbarkeit für Biogaserzeugung	Beispiele für Biomasse
Grünfütter	Ackerland	Beschränkt	z.B. Maissilage, Ackergras, Getreide-Ganzpflanzensilage, Sorghumsilage
	Dauergrünland	Unbeschränkt	Gras von Dauergrünland
Marktfrucht	Ackerland	Beschränkt	z.B. Getreidekorn, Maiskorn, Zuckerrüben
Nebenprodukt	Ackerland	Unbeschränkt	z.B. Getreidestroh, Rübenblatt, Rapsstroh, Körnermaisstroh
Wirtschaftsdünger	Tierhaltung	Unbeschränkt	z.B. Rinderfestmist, Rindergülle, Schweinefestmist, Schweinegülle

Die Klassifizierung von Biomasse in „beschränkt“ und „unbeschränkt“ verfügbar für die Energiegewinnung leitet sich aus der aktuellen Nutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Bayern ab. Laut einer Studie von Siddiqui et al. [4] stellen Grünfütter und Marktfrüchte, die speziell als Substrat für die Biogaserzeugung produziert werden (Nachwachsende Rohstoffe, NawaRo), etwa 58,1 % des Masseninputs dieser Anlagen dar. Diese bestehende energetische Nutzung von NawaRo von Grünfütter und Marktfrüchten wird auch für die Zukunft als maximales Potenzial angesetzt. Diese Festlegung wurde von den am Projekt beteiligten Partnern und externen Stakeholder als Ergebnis mehrerer Workshops und Diskussionsrunden getroffen. Mit der Beschränkung des Einsatzes von NawaRo auf den aktuellen Stand wird sichergestellt, dass es innerhalb des untersuchten Zeitraums bis 2030 zu keiner Ausdehnung des NawaRo-Anbaus für die Biogaserzeugung kommt und keine Konflikte mit den Zielen einer Sicherstellung der Lebens- und Futtermittelproduktion entstehen.

Mit dieser Beschränkung des NawaRo-Anbaus für die Biogaserzeugung auf den *Status quo* soll dem Leitprinzip einer Priorisierung der stofflichen vor der energetischen Nutzung von Biomasse Rechnung getragen werden, wie es in den von der Bundesregierung formulierten Eckpunkten einer Nationalen Biomassestrategie formuliert wurde [5]. Gleichzeitig wird der bedeutende Beitrag von NawaRo zur Biogaserzeugung anerkannt, der zumindest in naher Zukunft aufgrund der im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgelegten Förderbedingungen relevant bleiben wird.

Für „unbeschränkte“ Substrate wird hingegen keine Obergrenze festgelegt: insofern diese Biomassen also für die Biogasproduktion geeignet sind, stehen sie als technisches Potenzial zur Verfügung. Die Nutzung dieser „unbeschränkten“ Substrate unterstützt die Nachhaltigkeitsziele, indem sie eine effiziente Verwertung von Rest- und Nebenprodukten ermöglicht und zur Schonung von Ressourcen beiträgt, ohne dabei die landwirtschaftliche Produktion oder die Nahrungsmittelsicherheit zu beeinträchtigen.

6.1.1.2 Berechnung „beschränkter“ und „unbeschränkter“ Substrate

„Beschränkte“ Substrate: Für „beschränkte“ Substrate, wie Grünfütter aus Ackerbau und Marktfrüchte, wird die Obergrenze der Biogasproduktion in einer Gemeinde durch den aktuellen Einsatz von NawaRo in Biogasanlagen definiert. Da der NawaRo-Anbau für die Biogasproduktion begrenzt ist, müssen die derzeit in Biogasanlagen eingesetzten NawaRo-Mengen bekannt sein, um die Obergrenze für den NawaRo-Anbau festzulegen. Die Massen der „beschränkten“ Substrate entsprechen somit dem aktuellen Umfang ihrer Nutzung für die Biogaserzeugung. Diese werden aus der in einer Gemeinde aus Biogas erzeugten Strommenge unter Berücksichtigung des elektrischen Wirkungsgrades, der Methanerträge der jeweiligen Biogasanlagen je Substratmix und des regionspezifischen Substratmixes zurückgerechnet. Solange diese Produktionsmengen in einer Gemeinde deren Bedarf decken, kann man für „beschränkte“ Substrate vereinfacht die folgende Gleichung verwenden:

$\begin{aligned} &\text{„Beschränkte“ Substratmenge für technisches Potenzial} \\ &= \\ &\text{Aktuell eingesetzte Substratmenge für Biogasproduktion} \end{aligned}$

In einem weiteren Schritt wird überprüft, ob die rechnerisch in einer Gemeinde zur Biogaserzeugung verbrauchten Substrate auch tatsächlich in dieser Gemeinde produziert werden. Um zudem der stofflichen Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse in der Tierhaltung (Futtermittel) Priorität vor der Biogaserzeugung einzuräumen, wird für jeden Biomassetyp nur derjenige Anteil für die

Potenzialberechnung herangezogen, der aktuell keiner stofflichen Nutzung zugeordnet ist. Daher wird bei „beschränkter“ Biomasse zunächst der Verbrauch an Futtermitteln in der Tierhaltung berücksichtigt. Die nach Abzug des Futtermittelverbrauchs verbleibende Biomasse steht dann für die Biogaserzeugung zur Verfügung, jedoch maximal bis zur festgelegten Obergrenze.

Sollte die auf dem Gebiet einer Gemeinde erzeugte Biomasse rechnerisch nicht ausreichen, um den Bedarf für die Biogasproduktion zu decken, wird angenommen, dass die zusätzlich benötigten Mengen aus anderen Gemeinden innerhalb des Bilanzraumes (in diesem Fall die gesamte Landesfläche Bayerns) importiert werden. Die für die Umverteilung angewandte Vorgehensweise und relevanten Annahmen werden detaillierter im Kapitel 6.1.1.5 behandelt. Die Summe der Importe kann dabei maximal so hoch sein wie die Menge Biomasse, die nach Abzug der stofflichen Nutzung in der Tierhaltung und der energetischen Nutzung in Biogasanlagen noch potenziell für den Export zur Verfügung steht. Dadurch ist sichergestellt, dass keine Übernutzung stattfindet. Sollte die Summe der Bedarfe die Summe der Biomasse, die übrig ist, übersteigen, kann das ein Anzeichen sein, dass Biomasse aus benachbarten Bundesländern und Staaten nach Bayern importiert wird. Für die Berechnung des Potenzials wird jedoch nur diejenige Biomasse herangezogen, die rechnerisch auch in Bayern erzeugt werden kann.

„Unbeschränkte“ Substrate: Die Berechnung der „unbeschränkten“ Substrate, wie Gras von Dauergrünland, Nebenprodukte und Wirtschaftsdünger, erfolgt weitgehend unabhängig vom derzeitigen Einsatz in Biogasanlagen. Hier wird für jede Gemeinde die gesamte Produktionsmenge dieser Biomassen ermittelt und davon die stoffliche Nutzung in der Tierhaltung (Futtermittel, Einstreu) abgezogen. Die verbleibende Differenz, also das, was nicht für die Tierhaltung benötigt wird, steht potenziell für die Biogasproduktion zur Verfügung. Bei Wirtschaftsdüngern, die aktuell keine nennenswerten konkurrierenden stofflichen Nutzungspfade aufweisen, entspricht das Potenzial dem gesamten Anfall dieser Substrate. Wirtschaftsdünger dient zwar als wertvoller organischer Dünger im landwirtschaftlichen Betrieb, jedoch haben Gärreste aus Biogasanlagen ähnliche Eigenschaften mit dem Vorteil einer verbesserten Bodeninfiltration und einem höheren Gehalt an schnell verfügbarem Ammoniumstickstoff. Solange die Produktionsmenge einer Gemeinde deren Bedarf deckt, kann man daher für „unbeschränkte“ Substrate vereinfacht folgende Gleichung aufstellen:

$\begin{aligned} &\text{„Unbeschränkte“ Substratmenge für technisches Potenzial} \\ &= \\ &\text{Insgesamt produzierte Substratmenge} - \text{in der Tierhaltung verwendete Substratmenge} \end{aligned}$

Bei der Betrachtung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten, wie Ernteresten, wird berücksichtigt, dass ein Teil dieser Biomassen aus technischen Gründen nicht geborgen werden kann und auf dem Feld verbleibt. Diese Erntereste erfüllen jedoch eine weitere wichtige Funktion, indem sie zur Humusreproduktion beitragen.

6.1.1.3 Berücksichtigung der Humusreproduktion

Biomasse in Form von Erntenebenprodukten stellt einen potenziellen Rohstoff für die Biökonomie und die Biogasproduktion dar. Gleichzeitig zählen Erntenebenprodukte ebenso wie Wirtschaftsdünger, Biogas-Gärreste und Kompost zu den organischen Düngern. Die Zufuhr von organischen Düngern hat eine zentrale Bedeutung im Humuskreislauf von Ackerflächen. Im Humuskreislauf kann die organische Substanz der Erntenebenprodukte wesentlich zur Humusreproduktion auf Ackerflächen beitragen.

Eine ausreichende Humusreproduktion von Ackerflächen ist entscheidend, um langfristig deren Funktionalität in Bezug auf Biomasseproduktion, Umwelt- und Naturschutz sicherzustellen. Untersuchungen für Bayern deuten darauf hin, dass aufgrund des fortschreitenden Klimawandels ein verstärkter Humusabbau stattfindet, sodass in Zukunft tendenziell eine höhere Zufuhr organischer Substanz erforderlich ist, um eine ausreichende Humusreproduktion zu gewährleisten [6].

Neben der Zufuhr von organischen Düngern spielt die Gestaltung der Fruchtfolge eine entscheidende Rolle im Humuskreislauf von Ackerflächen. Die Gestaltung der Fruchtfolge kann sich positiv oder negativ auf den Humuskreislauf auswirken. Insbesondere erbringen vielgliedrige Fruchtfolgen, der Anbau von Klee gras sowie der Anbau von Zwischenfrüchten einen positiven Beitrag zur Humusbilanz von Ackerflächen. Neben der oberirdischen Biomasse der Erntenebenprodukte wird auch aus der unterirdischen Biomasse in Form von Wurzeln eine wesentliche Menge Humus reproduziert.

Unter dem Aspekt der nachhaltigen Landbewirtschaftung ist es also entscheidend, die Nutzung von Erntenebenprodukten so zu gestalten, dass sie die Humusreproduktion langfristig sichert und eine ausgeglichene Humusbilanz gewährleistet. Auch in der Renewable Energy Directive (RED) wird darauf verwiesen, dass die Nutzung von Abfällen und Reststoffen zur Produktion von Biogas nur dann nachhaltig ist, wenn einer Verschlechterung der Bodenqualität und des Kohlenstoffbestands im Boden begegnet wird.² Die Entscheidung, welches Erntenebenprodukt und welche Menge davon der Ackerfläche entzogen werden kann, sollte auf Grundlage einer betriebspezifischen Humusbilanzierung getroffen werden, wie sie beispielsweise vom Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten empfohlen wurde. Nur bei einer ausgeglichenen Humusbilanz ist eine Nutzung der Nebenprodukte nachhaltig möglich. Das Aufstellen einer Humusbilanz erfolgt für jeden Schlag und erfordert Kenntnis über eine Vielzahl von Einflussfaktoren, die in der Regel nur beim Bewirtschafter vollständig vorliegen. Daher muss das Aufstellen einer Humusbilanz stets durch Verwendung der Informationen des Bewirtschafters auf Grundlage der standörtlichen, betrieblichen und bewirtschaftungsspezifischen Besonderheiten erfolgen.

Neben der Berücksichtigung der Humusbilanz muss bei der Nutzung von Erntenebenprodukten differenziert werden zwischen Nutzungen, bei denen keine organische Substanz auf die Ackerflächen zurückgeführt werden kann, und solchen, bei denen organische Substanz auf die Ackerflächen zurückgeführt werden kann. Zu letzteren zählt die Produktion von Biogas (Biomethan). Nach aktuellem Wissensstand wird durch den anaeroben Abbau der Biomasse im Biogasprozess nur derjenige Teil der Biomasse in Biogas umgewandelt, der bei Verbleib auf den Ackerflächen von den Bodenlebewesen innerhalb weniger Monate veratmet wird [7]. In Bezug auf die Humusreproduktion ist somit davon auszugehen, dass kein Unterschied besteht zwischen einer Nutzung von Erntenebenprodukten (Nebenprodukten) in einer Biogasanlage mit anschließender Rückführung der Gärreste auf die Ackerflächen und dem direkten Verbleib der Erntenebenprodukte auf den Ackerflächen. Bei einer Nutzung von Erntenebenprodukten zur Biogasproduktion ist es entscheidend, dass die Gärreste auf die Flächen zurückgeführt werden, von denen die Biomasse entnommen wurde, stets unter Einhaltung der Empfehlungen und Vorgaben der guten fachlichen Praxis sowie des Düngerechts. Nutzungen, bei denen keine organische Substanz aus der Verarbeitung der Erntenebenprodukte zurückgeführt werden

² Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018, Artikel 29, Absatz 2.5

kann, sind nur dann möglich, wenn die Humusbilanz auch ohne die Rückführung langfristig ausgeglichen bleibt.

6.1.1.4 Weitere Einflussfaktoren für „beschränkte“ und „unbeschränkte“ Substrate

Weitere Faktoren, die sowohl die Verfügbarkeit von „beschränkten“ als auch von „unbeschränkten“ Substraten für die Biogasproduktion beeinflussen, umfassen unter anderem Einschränkungen in der Produktionsintensität durch Umweltmaßnahmen, eine Reduktion der Flächenverfügbarkeit durch Moorwiedervernässungen, den Flächenverbrauch, Stilllegungen und Entwicklungen in der Tierhaltung.

Beispielsweise führt die Stilllegung von landwirtschaftlichen Nutzflächen zu einer reduzierten Verfügbarkeit von Anbauflächen für NawaRo und Nebenprodukte. Eine Abstockung der Tierbestände hingegen kann zu gegenläufigen Auswirkungen auf das technische Potenzial führen: einerseits steht weniger Wirtschaftsdünger als Substrat zur Verfügung, andererseits werden Futterflächen freigesetzt. Da für freiwerdendes Dauergrünland derzeit keine alternative wirtschaftliche Verwertung existiert, wird für die Biomasseproduktion von diesen Flächen angenommen, dass sie vollständig für die Biogasproduktion zur Verfügung steht.

Bei freiwerdenden Grünfutterflächen auf Ackerland ergeben sich mehrere Optionen, die in verschiedenen Szenarien betrachtet werden. Eine Option ist, dass die freiwerdenden Flächen weiterhin nicht für die Biogasproduktion verfügbar sind, ausgenommen die dort anfallenden Nebenprodukte. Eine andere Option ist, dass diese freiwerdenden Flächen teilweise oder vollständig für die Biogasproduktion verfügbar gemacht werden. Eine Verfügbarkeit der freiwerdenden Biomasse von Futterflächen als technisches Potenzial würde bedeuten, dass die von diesen Flächen produzierte Biomasse eine Umnutzung erfährt. Konsequenterweise handelt es sich also nicht um eine Ausdehnung des Anbaus von NawaRo, sodass die zuvor erläuterte Obergrenze (vgl. Kapitel 6.1.1.1) für den NawaRo-Anbau nicht überschritten wird.

6.1.1.5 Bilanzierungsgrenze und Umverteilung zwischen den Gemeinden

Bei der Berechnung des Biomassepotenzials auf Gemeindeebene kann es vorkommen, dass das Potenzial für Grünfutter, Marktfrüchte oder Nebenprodukte negativ ausfällt oder gleich null ist. Dies ist dann der Fall, wenn die stoffliche Nutzung in der Tierhaltung (Futtermittel, Einstreu) größer oder gleich der Biomasseproduktion ist (Fall 1 in Abbildung 6-1).

Ein ähnlicher Fall tritt auf, wenn die Produktion innerhalb einer Gemeinde zwar ausreichend ist, um den Bedarf dieser Biomasse in der Tierhaltung zu decken, aber der gesamte Bedarf aus Tierhaltung und energetischer Nutzung in den Biogasanlagen der Gemeinde die verfügbare Produktionsmenge übersteigt (Fall 2 in Abbildung 6-1). In diesem Fall ist das technische Potenzial der Gemeinde größer null, aber beschränkt. Im Fall 2 wird das technische Potenzial dieser Gemeinde für die energetische Nutzung berechnet, in dem von der Biomasseproduktion der Bedarf in der Tierhaltung abgezogen wird. Jeglicher zusätzliche Bedarf muss rechnerisch importiert werden. Gemeinden, die kein Potenzial aufweisen oder deren Potenzial geringer ist als die aktuelle Nutzung in den Biogasanlagen, werden als Importgemeinden bezeichnet.

Importe einer Gemeinde stammen aus anderen Gemeinden und dürfen daher nicht für die Bestimmung des technischen Potenzials der Importgemeinde herangezogen werden. Das Gegenstück zu den Importgemeinden sind die Exportgemeinden. Bei diesen entspricht das

technische Potenzial dem Substratbedarf für die Biogaserzeugung innerhalb der Gemeinde, plus deren Exportmengen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Berechnung substratspezifisch erfolgt, wodurch eine Gemeinde sowohl Importeur eines Substrats als auch Exporteur eines anderen Substrats sein kann.

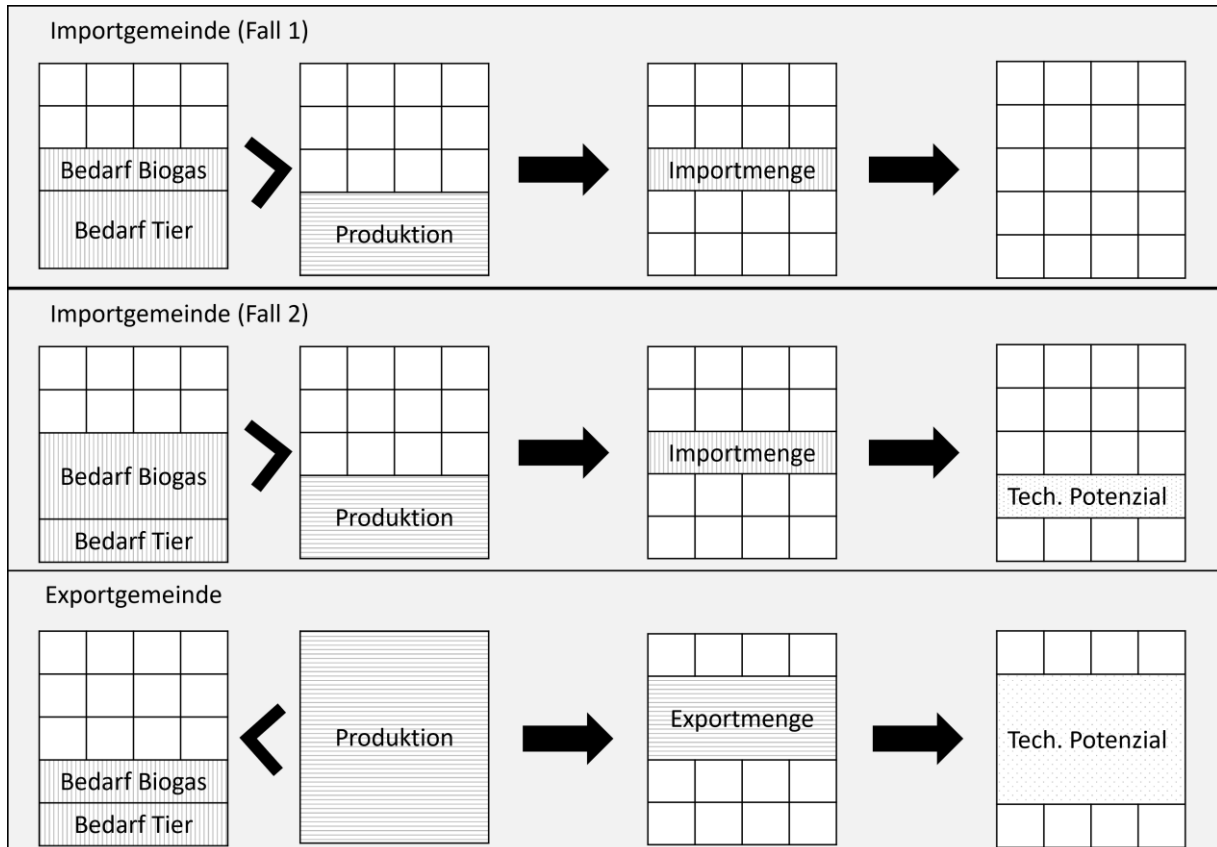


Abbildung 6-1: Schematische Darstellung der Bilanzierung des technischen Biomassepotenzials in Import- und Exportgemeinden für die Biogasproduktion unter Berücksichtigung des Tierhaltungsbedarfs

Um einen Ausgleich zu schaffen zwischen den Gemeinden, in denen der Verbrauch die Produktion übersteigt, und jenen, die einen Überschuss aufweisen, werden die Exportmengen innerhalb einer festgelegten Bilanzgrenze berechnet. Diese Bilanzgrenze stellt Bayern dar. Für alle beschränkten Biomassetypen wird die Summe aller Importmengen auf die Gemeinden mit einem rechnerischen Überschuss an Biomasse verteilt. Die Verteilung erfolgt entsprechend des Anteils einer Gemeinde am Gesamtüberschuss, sodass Gemeinden mit einem hohen Überschuss auch eine größere Exportmenge bereitstellen.

Durch diese Methodik werden verschiedene wichtige Aspekte berücksichtigt: i) Der Transport von Biomasse über Gemeindegrenzen hinweg, ii) die korrekte Zuordnung des Potenzials zur Gemeinde, in der die Biomasse tatsächlich produziert wird, und iii) die vollständige Erfassung des Potenzials, auch in denjenigen Gemeinden, in denen der Biomasseverbrauch die Produktion übersteigt.

6.1.2 Biomassebedarf der Biogasanlagen

Die Berechnung der als Potenzial verfügbaren Mengen an „beschränkten“ landwirtschaftlichen Substraten basiert auf dem aktuellen Einsatz dieser Substrate in Biogasanlagen. Da zum Verbrauch von Biomasse zur Biogaserzeugung in Bayern keine offiziellen Daten verfügbar sind, wird dieser in mehreren Schritten auf Basis der in einer Gemeinde aus Biogas erzeugten Energiemenge abgeleitet.

Die Berechnungsschritte sind in Abbildung 6-2 visualisiert und werden in den folgenden Unterkapiteln detaillierter beschrieben.

Zusammengefasst finden folgende Berechnungen statt: Im ersten Schritt werden diejenigen Biogasanlagen identifiziert, welche landwirtschaftliche Substrate einsetzen. Um das erzeugte Methanvolumen zu berechnen, wird bei Biogasanlagen mit Verstromung die erzeugte elektrische Energie und bei Biomethan-Einspeiseanlagen die genehmigte Produktionsleistung herangezogen, um diese in ein Methanvolumen umzurechnen. Für Biogasanlagen mit Verstromung wird das produzierte Methanvolumen unter Annahme eines mittleren elektrischen Wirkungsgrades aus der erzeugten Strommenge berechnet. Aus dem Methanvolumen wird anschließend der Gesamtverbrauch an Biomasse basierend auf einem anlagentyp- und regionalspezifischen Methanertrag berechnet. Dieser Gesamtverbrauch an Biomasse wird dann gemäß einer anlagentyp- und regionalspezifischen Substratzusammensetzung, dem sogenannten Substratmix, auf die einzelnen Substrate aufgeteilt.

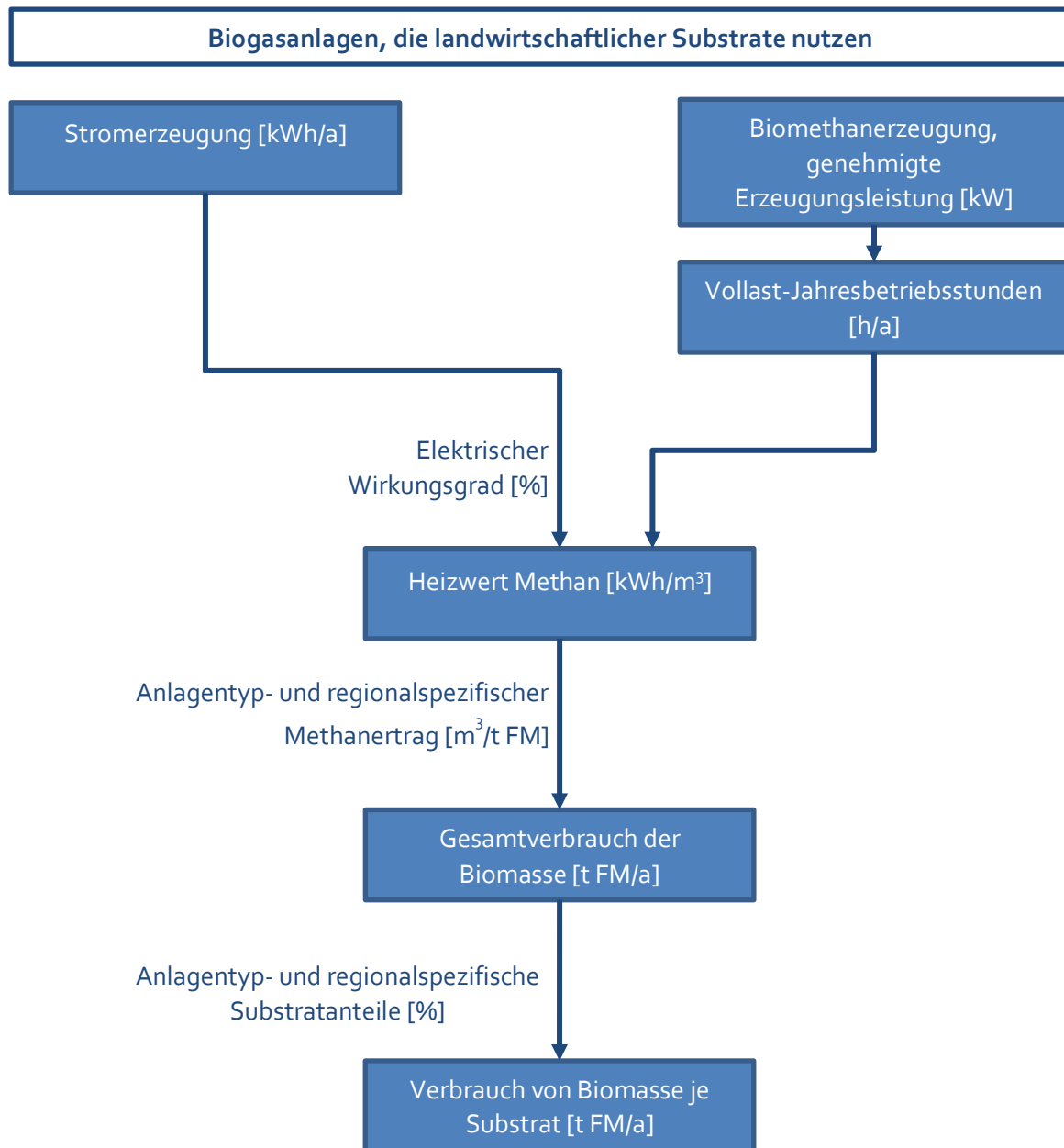


Abbildung 6-2: Ablauf zur Rückrechnung des Biomasseverbrauchs je Biogasanlage

6.1.2.1 Identifizierung landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Die jährliche Stromproduktion jeder Biomasseanlage, die eine EEG-Vergütung erhält, wird im Rahmen des EEG-Wälzungsmechanismus erfasst und mit Geokoordinaten des Anlagenstandorts im Energie-Atlas Bayern veröffentlicht. Für die Rückrechnung des Verbrauchs landwirtschaftlicher Biomasse in Biogasanlagen je Gemeinde muss bei diesen Daten aus dem Energie-Atlas Bayern zunächst unterschieden werden, ob gasförmige oder feste Energieträger eingesetzt werden. Darüber hinaus sind im Energie-Atlas Bayern sowohl Anlagen erfasst, die landwirtschaftliche Biomasse einsetzen, als auch solche, die nicht-landwirtschaftliche Biomasse nutzen (große Kläranlagen, Bioabfallvergärungsanlagen, Deponiegasanlagen). Deshalb ist bei den gasförmigen Energieträgern (Biogas) weiter zu unterscheiden, ob diese aus landwirtschaftlicher oder nicht-landwirtschaftlicher

Biomasse erzeugt werden (Abbildung 6-3). Die für die vorliegende Potenzialabschätzung relevanten Anlagen sind in Abbildung 6-3 jeweils mit durchgezogenen Linien umrandet.

Für die Identifizierung der Anlagen, die nicht-landwirtschaftliche Biomasse nutzen, wurden zusätzlich Daten der Übertragungsnetzbetreiber [8] und des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie GmbH zu den Standorten von Bioabfallvergärungsanlagen hinzugezogen. Innerhalb der Biogasanlagen, die landwirtschaftliche Biomasse einsetzen, lassen sich wiederum zwei Typen unterscheiden: Anlagen, die eine Mischung aus NawaRo, Wirtschaftsdüngern und geringen Anteilen verschiedener anderer landwirtschaftlicher Biomassen einsetzen, wobei in dieser Mischung NawaRo überwiegen (N-BGA), sowie Anlagen, die überwiegend bzw. ausschließlich Wirtschaftsdünger vergären (G-BGA), auch bekannt als „Güllekleinanlagen“ oder „Hofbiogasanlagen“. Letztere werden seit 2012 im Rahmen des EEG besonders gefördert, wenn bestimmte Kriterien, wie eine definierte elektrische Leistungsgrenze und der ganzjährige Einsatz von überwiegend Wirtschaftsdünger (d.h. über 80 % der eingesetzten Frischmasse), erfüllt sind. Die Zuordnung der Anlagen zu den Typen N-BGA oder G-BGA basiert auf den Informationen der ÜNB zu den verschiedenen Vergütungskategorien, da diese Klassifizierung nicht direkt aus den Daten des Energieatlas Bayern hervorgeht.

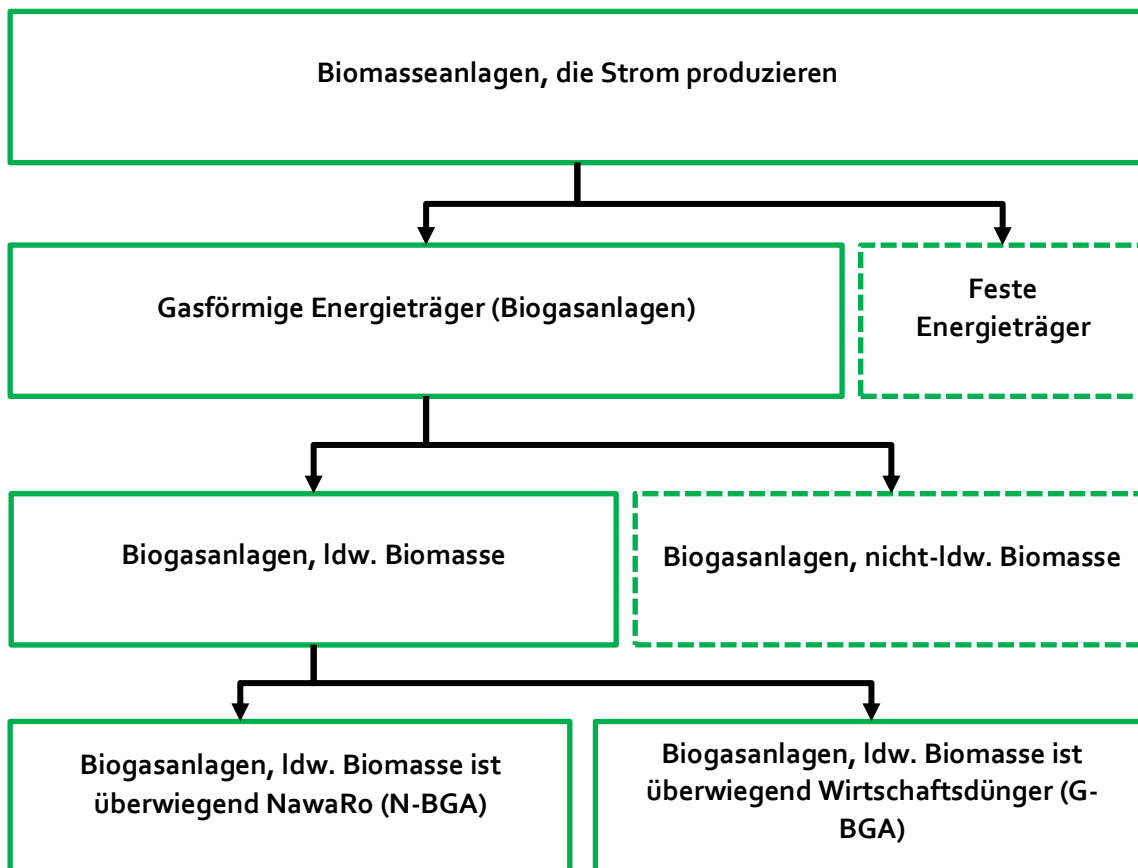


Abbildung 6-3: Darstellung des Vorgehens zu Identifizierung der relevanten Biogasanlagenstandorte aus den Daten des Energieatlas Bayern

Neben den Biogasanlagen, die das erzeugte Biogas direkt vor Ort in Blockheizkraftwerken (BHKW) in Strom umwandeln, existieren auch Anlagen, die den größten Teil des erzeugten Biogases zu Biomethan aufbereiten und in das öffentliche Erdgasnetz einspeisen (Biomethan-Einspeiseanlagen).

Im Energie-Atlas Bayern werden bei diesen Anlagen nicht das erzeugte Gasvolumen, sondern die maximal genehmigte Produktionskapazität und die Geokoordinaten des Standorts erfasst.

6.1.2.2 Umrechnung der Energieproduktion in Methanvolumen

Zur Umrechnung der Stromproduktion von Anlagen mit Vor-Ort-Verstromung wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 39,1 %, ein Eigenstrombedarf von 8 % der Brutto-Stromproduktion und der untere Heizwert von Methan mit 9,97 kWh/m³ angesetzt. Der verwendete elektrische Wirkungsgrad ist in Abbildung 6-4 durch eine rote Linie dargestellt. Er entspricht dem arithmetischen Mittelwert der leistungsgewichteten elektrischen Wirkungsgrade von 600 landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Bayern im Jahr 2022 (Abbildung 6-4).

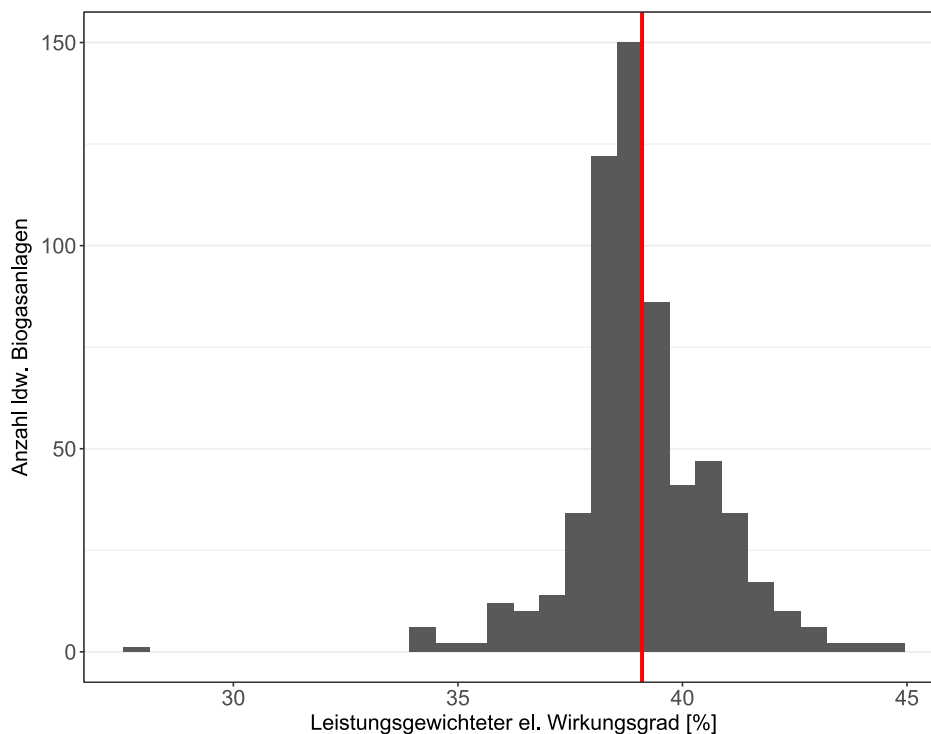


Abbildung 6-4: Histogramm der leistungsgewichteten elektrischen Wirkungsgrade von 600 landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Bayern im Jahr 2022

Bei der Berechnung des erzeugten Methanvolumens der Biomethan-Einspeiseanlagen wird angenommen, dass deren genehmigte Produktionsleistung voll ausgelastet wird und der jährliche Stillstand 5 % der Zeitstunden eines Jahres mit 365 Tagen beträgt.

6.1.2.3 Umrechnung des Methanvolumens in verarbeitete Biomasse

Nachdem für jede Biogasanlage h , das Methanvolumen P_h , bekannt ist, umfasst der nächste Schritt für jedes eingesetzte Substrat k , die Berechnung der Frischmasse $FM_{h,k,j}$. Diese Berechnung der Frischmasse findet regionsspezifisch für jede Region j , statt. Bei den Regionen, die für die Einteilung Bayerns herangezogen wurden, handelt es sich um landwirtschaftliche Erzeugerregionen; diese sind detailliert im nächsten Kapitel (6.1.3) beschrieben. Die regionsspezifische Frischmasse einer Biogasanlage wird je Substrat berechnet, indem das Methanvolumen der Anlage geteilt wird durch den regionsspezifischen Methanertragsparameter, y_j , und den jeweiligen regionsspezifischen Substratanteils, $a_{j,k}$. Für die Berechnung der Frischmasse, $FM_{h,j,k}$, wird folgende Gleichung verwendet:

$$FM_{h,k,j} = \frac{P_h}{y_j \cdot a_{k,j}} \quad (1)$$

Der regionsspezifische Methanertragsparameter, y_j , entspricht dem Median der jährlichen Biogasanlagen-spezifischen Methanertragsparameter, $y_{i,h,j}$, aller Biogasanlagen h im Jahr i in der Region j , welcher wiederum definiert ist als das Verhältnis der jährlichen Methanproduktion, $P_{i,h}$, einer Biogasanlage zur Summe der in einer Biogasanlage eingesetzten jährlichen Frischmassesubstrate, $\sum_k FM_{i,h,k,j}$, aller eingesetzten Substrate (Abbildung 6-5). Der Methanertragsparameter variiert je nach Anlagentyp (N-BGA, G-BGA) und Region, in der die Anlage liegt und wurde wie folgt berechnet:

$$y_{i,h,j} = \frac{P_{i,h}}{\sum_k FM_{i,h,k,j}} \quad (2)$$

Für jede Region und jeden Anlagentyp wurde der Median der berechneten Methanertragsparameter $y_{i,h,j}$ bestimmt. Für den Typ N-BGA basieren die Daten auf Beobachtungen aus den Jahren 2019 bis 2022, während für den Typ G-BGA Daten ausschließlich aus dem Jahr 2023 vorlagen.

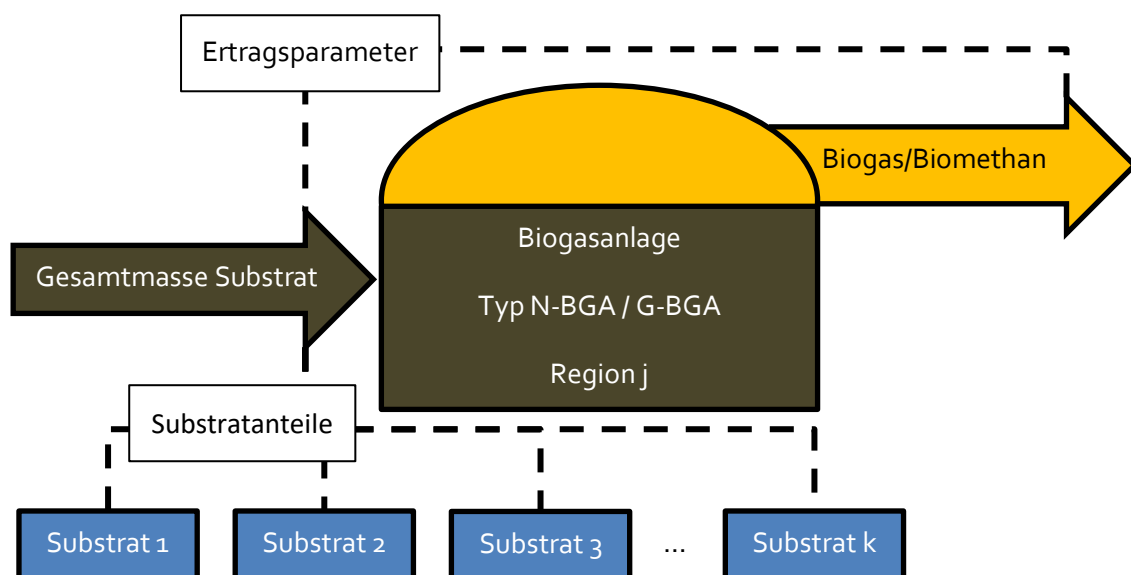


Abbildung 6-5: Schema zur Berechnung des Ertragsparameters und der Substratanteile an einem Biogasanlagenstandort

Der Verbrauch von einzelnen Biomassen in einer Biogasanlage wird aus der Gesamtmasse der eingesetzten Biomasse errechnet, indem diese mit anlagentyp- und regionalspezifischen Substratanteilen multipliziert wird (vgl. Abbildung 6-5). Für jede Anlage vom Typ N-BGA wurde der Anteil $a_{i,h,k}$ eines jeden Substrats k am gesamten Substratinput dieser Anlage im Beobachtungszeitraum 2019-2022 bestimmt. Für die Anlagen vom Typ G-BGA lagen zur Berechnung der Substratanteile wiederum nur Beobachtungen für das Jahr 2023 vor:

$$a_{i,h,k} = \frac{FM_{i,h,k}}{\sum_k FM_{i,h,k}} \quad (3)$$

Für jede Region und jeden Anlagentyp wurde daraus der arithmetische Mittelwert der Anteile jedes Substrats bestimmt und auf 100 % normalisiert ($a_{k,j}$).

Die Kategorisierung von Biogasanlagen in verschiedene Anlagentypen und die Zuordnung zu spezifischen Regionen dient zwei wesentlichen Zielen: Erstens, um systematische Unterschiede im Ertragsparameter, die sich aus dem Anlagentyp und der geographischen Lage ergeben, adäquat abzubilden, und zweitens, um die regional variierende Substratverfügbarkeit zu berücksichtigen. Die regionalspezifischen Ertragsparameter und Substratanteile wurden für den Anlagentyp N-BGA aus den jährlichen Daten von mehr als 600 Biogasanlagen ermittelt, die auf den Angaben der Anlagenbetreiber zu den EEG-Jahresendgutachten 2019-2022 beruhen und durch ein Umweltgutachterbüro bereitgestellt wurden. Für die regionalspezifischen Ertragsparameter und Substratanteile des Anlagentyps G-BGA wurde in Bayern 2023 eine Umfrage unter Betreibern dieses Anlagentyps durchgeführt. Dabei konnten Datensätze von 69 unterschiedlichen Biogasanlagen ausgewertet werden, die überwiegend Gülle oder Festmist einsetzen.

Wird der Substratverbrauch aller Anlagen einer Gemeinde summiert, ergibt sich der gesamte, nach Substrattypen aufgeschlüsselte Biomasseverbrauch in dieser Gemeinde. Die so berechneten Substratverbräuche können dann mit den substratspezifischen biochemischen Methanpotenzialen (BMP) [g] in Methanvolumina umgerechnet werden.

Für die Berechnung des Biomassepotenzials in den Szenarien wird angenommen, dass die regional- und anlagentypspezifischen Ertragsparameter und Substratmischungen unverändert bleiben. Daraus ergibt sich, dass in den Szenarien die Biomassen vom Typ Grünfutter und Marktfrucht, die aktuell bereits verbraucht werden, weiterhin zur Verfügung stehen, sofern die gesamte Biomasseproduktion in Bayern nicht kleiner ist als die Summe des Biomasseverbrauchs (Kapitel 6.1.4).

6.1.3 Biomassebedarf in der Tierhaltung

Die Rückrechnung des Biomasseverbrauchs in der Tierhaltung umfasste Biomasse zu Futter- und Einstreuzwecken in der Rinder-, Schaf-, Ziegen-, Schweine-, Pferde-, Geflügel- und Wildtierhaltung. Biomassen, die dabei berücksichtigt wurden, sind Ackergras, Gras von Dauergrünland, Getreidekorn, Getreidestroh, Klee (Klee gras), Luzerne, Maiskorn und Maissilage. Der rechnerische Verbrauch dieser Biomassen beruhte auf dem mittleren Jahresbestand folgender wichtiger Tierkategorien, die in den INVEKOS-Daten erfasst werden:

Tabelle 6-2: In der Potenzialberechnung berücksichtigte Tierkategorien mit jeweiligem INVEKOS-Code (Stand 2023)

Tierart	Beschreibung (Tierkategorie)	INVEKOS-Code
Rinder	Kälber bis 6 Mo.	1
Rinder	Männl. Rinder über 6 Mo. bis 1 Jahr	4
Rinder	Männl. Rinder über 1 Jahr bis 2 Jahre	5
Rinder	Männl. Rinder über 2 Jahre, Zuchtbullen	6
Rinder	Weibl. Rinder über 6 Mo. bis 1 Jahr	7

Tierart	Beschreibung (Tierkategorie)	INVEKOS-Code
Rinder	Weibl. Rinder über 1 Jahr bis 2 Jahre	10
Rinder	Andere weibl. Rinder über 2 Jahre	13
Rinder	Kühe (Milch-, Mutter-, Ammenkühe)	18
Schafe	Schafe bis 1 Jahr, einschl. Lämmer	21
Schafe	Mutterschafe	22
Schafe	Andere Schafe über 1 Jahr, Hammel	23
Schafe	Schafböcke zur Zucht	24
Ziegen	Mutter- einschl. gedeckte Jungziegen	31
Ziegen	Andere Ziegen über 1 Jahr	32
Schweine	Ferkel bis 30 kg	50
Schweine	Zuchtsauen ab 1. Abferkeln/Jungsauen trächtig	51
Schweine	Andere Zuchtschweine (o. Eber) über 50 kg	53
Schweine	Jungschweine über 30 kg bis 50 kg	54
Schweine	Mastschweine einschl. Eber über 50 kg	55
Pferde	Pferde bis 1 Jahr, Ponys, Kleinpferde	41
Pferde	Pferde über 1 Jahr, Großpferde (>1,48 m Stockmaß)	42
Geflügel	Küken u. Legehennen bis 6 Mo. zur Aufzucht	62
Geflügel	Legehennen über 6 Monate	61
Geflügel	Masthühner/-hähne u. übrige Küken	63
Geflügel	Enten	64
Geflügel	Gänse	65
Geflügel	Puten	66
Wild	Damwild	73
Wild	Rotwild	74

Für die Bestimmung des Futterbedarfs bei Raufutterfressern wie Rindern, Schafen, Ziegen, Pferden und Wild wurde pauschal angenommen, dass ein Teil ihres Futters aus Zwischenfrüchten stammt, die auf Ackerland angebaut werden. Der Anbau von Zwischenfrüchten wird nicht in den INVEKOS-Daten erfasst, daher entsteht aus diesem Teil des Futters auch kein Biomasseverbrauch, der zu berücksichtigen ist. In der Geflügelhaltung wurde der Bedarf an Einstreumaterial berücksichtigt, jedoch nicht der Futtermittelbedarf, da Geflügelhaltende Betriebe das Futter in der Regel aus überregionalen Mischfutterwerken zukaufen.

Hingegen wurde angenommen, dass der Bedarf regionalspezifischer Futtermittel von Raufutterfressern und Schweinen direkt durch die Futterproduktion innerhalb der Gemeinde bedient wird. Für die Rückrechnung des Futterbedarfs von Raufutterfressern wurden regions- und tierkategoriespezifische Futterrationen vom Institut für Tierernährung der LfL entwickelt. Für Schweine basierten die Berechnungen auf Veröffentlichungen desselben Instituts [10]. Grundlage für den Einstreubedarf in Haltungssystemen mit Festmist bildeten die Angaben zum „hohen Einstreubedarf“ im Düngungsleitfaden der LfL [11], Daten der Landwirtschaftszählung 2020 zu den unterschiedlichen Haltungsformen je Tierkategorie und Regierungsbezirk [12], sowie

Expertenschätzungen der LfL zu den Haltungssystemen je Tierkategorie. Bei fehlenden Daten zum Einstreubedarf wurden die Werte einer ähnlichen Tierkategorie herangezogen.

Für die Definition der Futterrationen wurden vier unterschiedliche landwirtschaftliche Regionen in Bayern berücksichtigt: Ackerbauregionen, Mischregionen, grünlandbetonte Regionen sowie reine Grünlandregionen. Die Zuordnung der einzelnen Gemeinden zu diesen Regionen erfolgte anhand des jeweiligen landwirtschaftlichen Erzeugungsgebiets Bayerns, in dem die Gemeinde liegt (Abbildung 6-6).

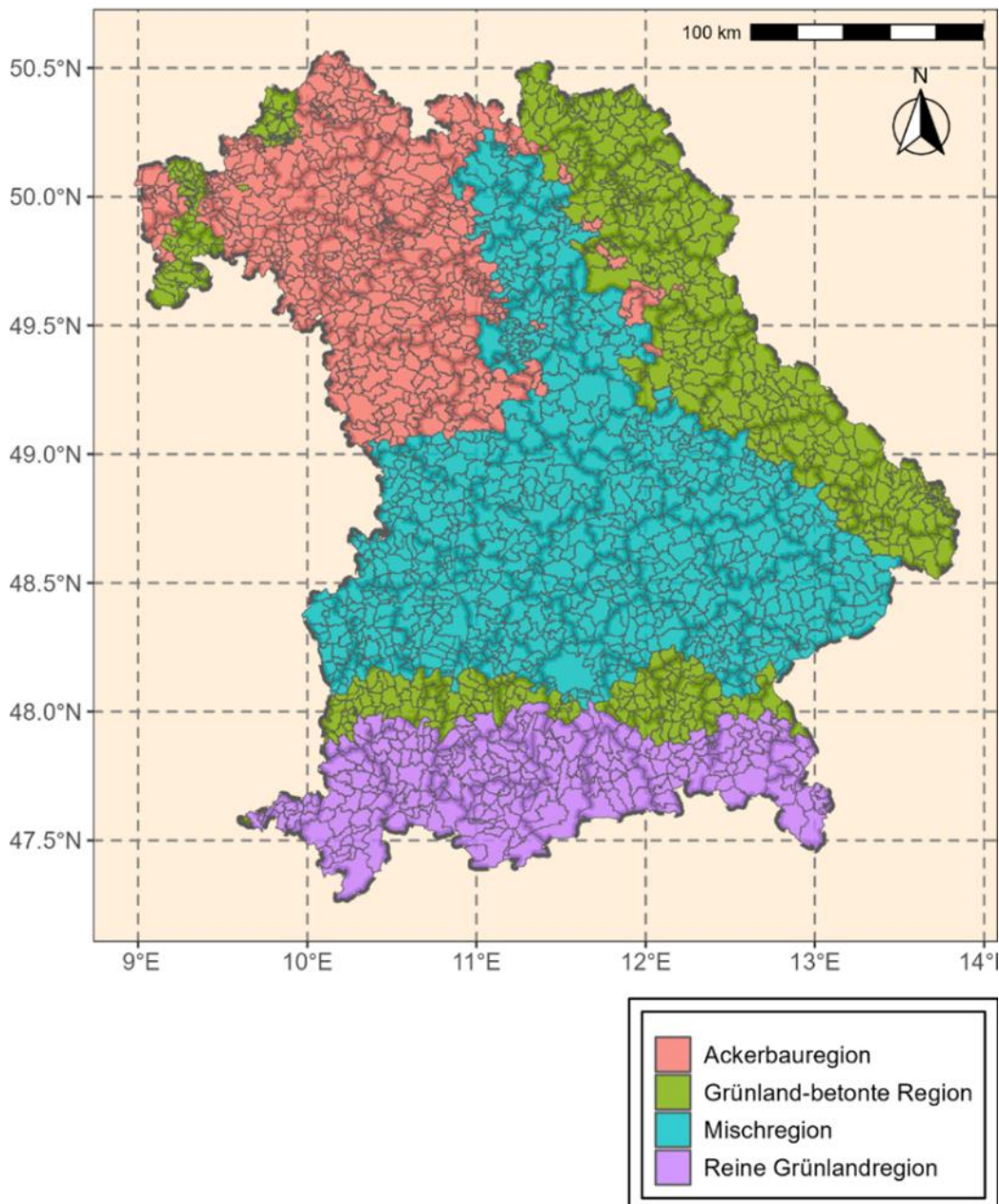


Abbildung 6-6: Lage der unterschiedlichen landwirtschaftlichen Erzeugergebiete in Bayern

6.1.3.1 Einstreu in der Tierhaltung je Gemeinde

Für die Berechnung des Verbrauchs von Biomasse als Einstreumaterial dienen der mittlere Jahresbestand einer Tierkategorie auf Gemeindeebene und der tierkategoriespezifische Einstreubedarf je Tier als Rechengrundlage (Abbildung 6-7). In dieser Berechnung wurde nur der Anteil der Tierhaltung in Ställen mit Festmisthaltung berücksichtigt. Freilandhaltung und Gülle-basierte Haltungssysteme blieben unberücksichtigt, da bei diesen Systemen der Bedarf an Einstreumaterial deutlich geringer ist oder gänzlich entfällt.

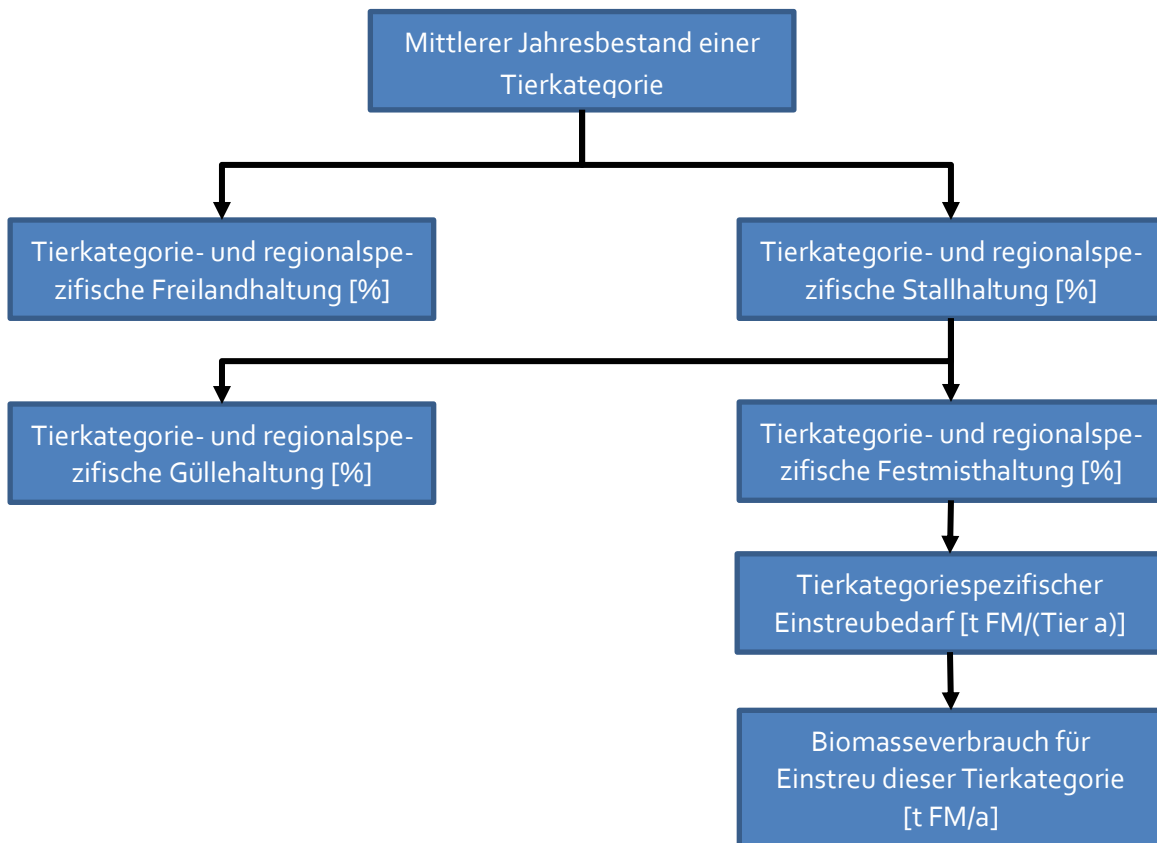


Abbildung 6-7: Ablauf zur Rückrechnung des Biomasseverbrauchs für die Einstreu in festmistbasierten Haltungssystemen in der Tierhaltung

Somit ergibt sich der Verbrauch von Biomasse k FM_k , für Einstreu in einer Gemeinde, indem die Tierzahlen je Tierkategorie l , n_l , mit dem tierkategoriespezifischen Einstreubedarf $ve_{k,l}$, für jedes Substrat und jede Tierkategorie aufsummiert wird:

$$FM_k = \sum_l (n_l \cdot ve_{k,l}) \cdot hf_{j,l} \cdot ff_{j,l} \quad (4)$$

Zusätzlich wird der regions- und tierkategoriespezifische Haltungsfaktor $hf_{j,l}$, berücksichtigt, der den Anteil der Tiere dieser Tierkategorie in einer Gemeinde (Region) erfasst, die in Festmist-basierten Systemen gehalten werden. Der regions- und tierkategoriespezifische Freilandhaltungsfaktor $ff_{j,l}$, berücksichtigt, dass manche Tiere einen Teil des Jahres ganztägig auf der Weide gehalten werden oder aber die Möglichkeit haben, tageszeitabhängig einen Auslauf mit Weide am Stall zu nutzen.

6.1.3.2 Futtermittel in der Tierhaltung je Gemeinde

Auch für die Ermittlung des Biomassebedarfs für Futtermittel in der Tierhaltung auf Gemeindeebene wurde der mittlere Jahresbestand einer Tierkategorie als Rechengrundlage herangezogen (Abbildung 6-8). Anhand des tierkategoriespezifischen Futterbedarfs und des Anteils der Biomasse, die in der jeweiligen Region als Futtermittel eingesetzt wird, lässt sich für jede Biomasse k , der Gesamtfutterbedarf FM_k , einer Gemeinde berechnen.

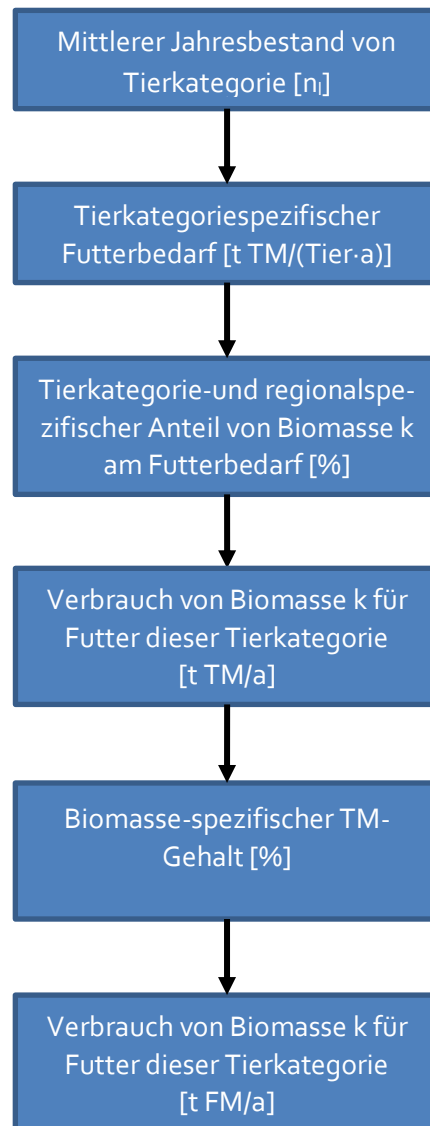


Abbildung 6-8: Ablauf zur Rückrechnung des Biomasseverbrauchs für die Bereitstellung von Futtermitteln in der Tierhaltung

Dieser Prozess umfasst die Bestimmung des durchschnittlichen Futterbedarfs je Tier fb_l und die Berücksichtigung der in der Region für die jeweilige Tierkategorie typischerweise verwendeten Futtermittelarten. Durch die Multiplikation dieser spezifischen Futterbedarfe $fa_{j,k,l}$ mit dem Jahresbestand n_l , der jeweiligen Tierkategorie in der Gemeinde wird der gesamte Bedarf an Futtermittelbiomasse für die Tierhaltung in dieser Gemeinde ermittelt:

$$FM_k = \frac{1}{TM_k} \cdot \sum_k (n_l \cdot fb_l \cdot fa_{j,k,l}) \quad (5)$$

Im letzten Schritt erfolgt die Umrechnung von Trockenmasse in Frischmasse mit dem für die Biomasse typischen TM-Gehalt TM_k .

Einen wichtigen Sonderfall stellen die 96 Gemeinden dar, in denen Gras auf Almen und Alpen produziert wird. Es wurde entschieden, diese Biomasse nicht für die Berechnung des Methanpotenzials zu berücksichtigen, da der Aufwuchs abgesehen von einer Beweidung nicht sinnvoll erschlossen werden kann. Gleichwohl kann die auf den Almen und Alpen erzeugte Biomasse für Futterzwecke eingesetzt werden, daher wurde bei der Gegenüberstellung von Biomasseproduktion und -verbrauch in diesen Gemeinden der Bedarf an Gras für die Fütterung von Raufutterfressern primär durch Gras von Almen und Alpen gedeckt. Verblieb in diesen Gemeinden dann weiter Bedarf an Gras, wurde dieser durch Gras von „regulären“ Dauergrünlandflächen, die keine Almen und Alpen sind, gedeckt.

6.1.3.3 Szenarien in der Tierhaltung

Die Rückrechnung des Biomasseverbrauchs in der Tierhaltung in den unterschiedlichen Szenarien erfolgte, indem die Tierzahlen je Gemeinde entsprechend den Annahmen im Szenario angepasst wurden. Dazu wurden die auf Landesebene aggregierten Zeitreihen der INVEKOS-Daten zu Tierzahlen je Tierkategorie in den Jahren 2018 bis 2022 verwendet, um die jährliche Veränderungsrate r_l des Tierbestands je Tierkategorie anhand des ersten und des letzten beobachteten Werts abzuschätzen.

$$r_l = \frac{g_{max}-g_{min}}{\sqrt{\frac{n_{l,gmax}}{n_{l,gmin}}}} \quad (6)$$

Dabei bezeichnen g_{max} und g_{min} jeweils das letzte bzw. erste Jahr der Zeitreihe.

Die Datengrundlage für die Bestimmung des Geflügelbestandes bilden die Zahlen des Landesamts für Statistik (LfStat) aus den Jahren 2010, 2013, 2016 und 2020 auf Landesebene [12–15], da die Tierzahlen in den INVEKOS-Daten die gewerbliche Tierhaltung nicht umfassen und daher deutlich niedriger ausfallen. Im Vergleich dazu bieten die Daten des LfStat eine genauere und umfassendere Darstellung des Geflügelbestands in Bayern.

Basierend auf dem Viehbestand des Jahres 2022 und unter Verwendung der jährlichen Veränderungsrate wurde der Viehbestand für zukünftige Szenarien im Jahr 2030 abgeschätzt. Im Rahmen des niedrigen Szenarios wurde angenommen, dass der Bestand aller Tierkategorien bis 2030 einheitlich um weitere 10 %-Punkte gegenüber der Fortschreibung des bisherigen Trends zurückgeht. Diese Annahme ermöglicht es, potenzielle Veränderungen in der landwirtschaftlichen Tierhaltung, die durch verschiedene Faktoren wie Marktbedingungen, Umweltpolitik oder Verbraucherverhalten beeinflusst werden könnten, in die Szenarienplanung miteinzubeziehen.

Innerhalb der Szenarien wurde keine Anpassung der tierkategorie- und regionsspezifischen Haltungsfaktoren, Einstreubedarfe und Futterbedarfe vorgenommen. Diese Annahme basiert auf den folgenden Überlegungen. Erstens erfolgen Veränderungen in den Haltungssystemen generell langsam, folglich sind innerhalb des kurzen Zeitraums bis 2030 keine signifikanten Änderungen zu erwarten, die die Berechnung der Festmist- und Güllemengen beeinflussen könnten. Zweitens wird

unterstellt, dass die Fütterung von Nutztieren bereits sehr stark optimiert ist, sodass diese auch innerhalb des betrachteten Zeithorizonts weitgehend unverändert bleiben wird.

Durch die Veränderung des Viehbestands in den Szenarien für das Jahr 2030 gegenüber dem IST-Zustand im Jahr 2022 ergibt sich eine Veränderung des Verbrauchs von Biomasse für die Bereitstellung von Einstreu und Futtermitteln. Für die Berechnung des Methanpotenzials in den Szenarien wurde angenommen, dass ein Anteil von dieser nicht mehr benötigten Biomasse in Biogasanlagen zur Energieerzeugung eingesetzt werden kann (vgl. Tabelle 6-3). Dadurch würde es nicht zu einer Ausdehnung des Anbaus von NawaRo kommen, sondern es würde lediglich eine Verschiebung von stofflicher zu energetischer Nutzung stattfinden.

Tabelle 6-3: Annahmen zur energetischen Nutzbarkeit von Biomasse, welche nicht mehr in der Tierhaltung benötigt wird

Szenario	Anteil der zur Biogaserzeugung genutzt werden kann
Niedrig	0 %
Mittel	50 %
Hoch	100 %

Wird ein Teil der nicht mehr in der Tierhaltung benötigten Biomasse für die Nutzung in Biogasanlagen freigegeben, steigt das Methanpotenzial folglich an. Beispielsweise werden im mittleren Szenario 50 % der nicht mehr in der Tierhaltung benötigten Biomasse für die Biogasproduktion freigegeben und gehen damit in die Berechnung des Methanpotenzials ein. Die übrigen 50 % hingegen werden bei der Berechnung des Methanpotenzials nicht hinzugerechnet.

6.1.4 Biomasse aus der pflanzlichen Produktion

Als Grundlage für die Bestimmung der Biomassen von Haupt- und Nebenprodukten aus der pflanzlichen Produktion in den Gemeinden dienen die INVEKOS-Daten. In diesen Daten sind alle landwirtschaftlichen Nutzflächen anhand eindeutiger NutzungsCodes für verschiedene Kulturen erfasst. Für das Basiszenario 2022 wurden die Flächen je Gemeinde und NutzungsCodes aggregiert. Im Hinblick auf die Szenarien im Jahr 2030 erfolgte die Berechnung der Ackerflächen (inkl. Dauer- und Sonderkulturen) jeder Gemeinde anhand einer durchschnittlichen Fruchtfolge, basierend auf den NutzungsCodes und den Flächengrößen der Jahre 2018 bis 2022. Da Dauergrünland keine Fruchtfolge aufweist, wurde für diese Flächen die Nutzung des Basisjahres 2022 beibehalten.

Die Berechnung der Haupt- und Nebenproduktion erfolgt durch Multiplikation der landwirtschaftlichen Nutzfläche einer Gemeinde mit kultur- und regionalspezifischen Erträgen (Abbildung 6-9). Die Informationen zu den Erträgen wurden aus unterschiedlichen Quellen [16–19] zusammengetragen und durch Experteneinschätzungen ergänzt. Dabei werden der gemeindespezifische Anteil der verschiedenen Kulturen, sowie die Produktionseinschränkungen, die je nach Gemeinde und Flächenstatus variieren, berücksichtigt. Für die Ermittlung der Nebenprodukte wird zusätzlich das kulturspezifische Verhältnis von Haupt- zu Nebenprodukt (HNV) und ein kulturspezifischer Nutzungsfaktor (Bergequote) einbezogen.

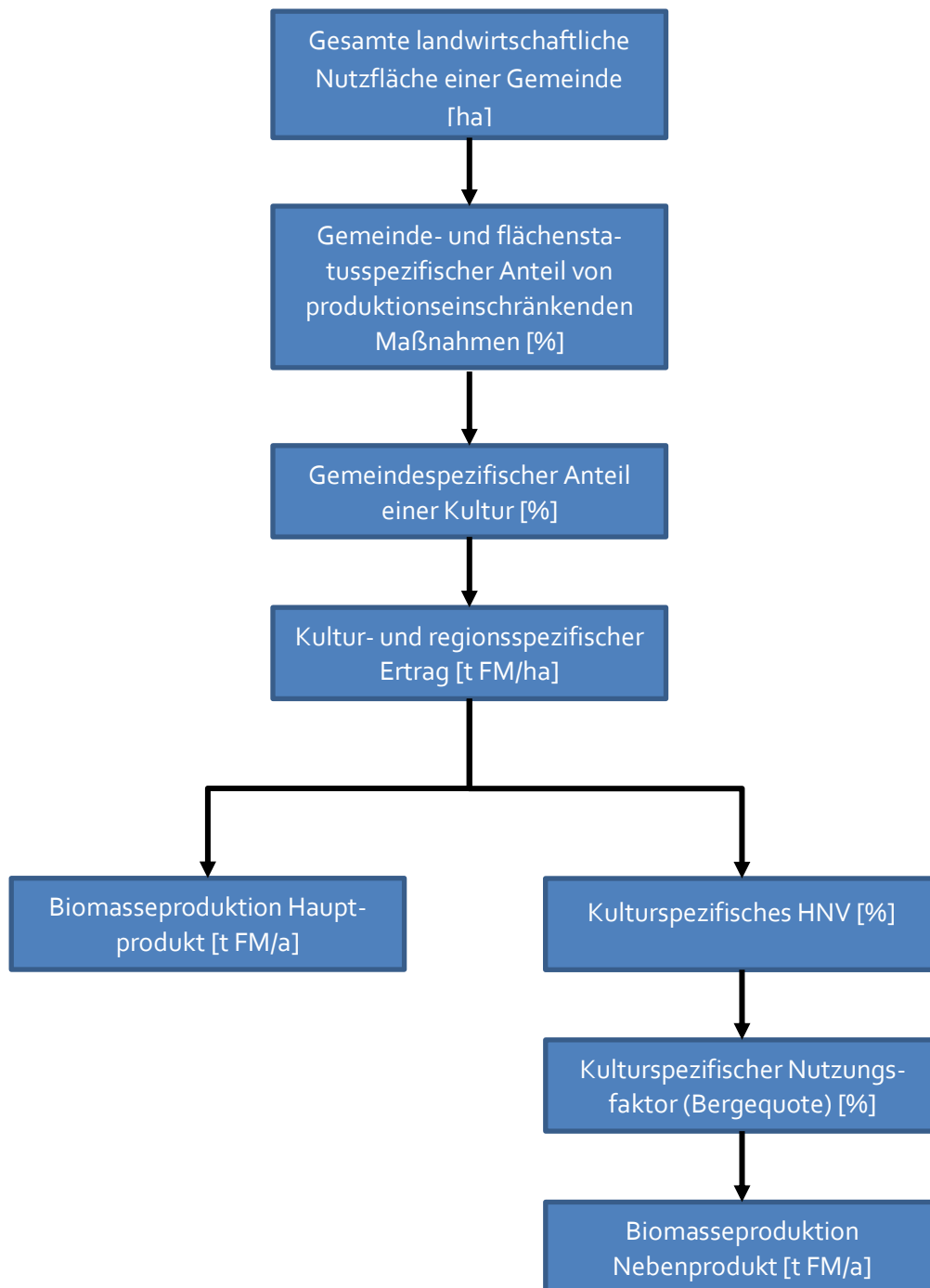


Abbildung 6-9: Ablauf zur Rückrechnung der Biomasseproduktion in der pflanzlichen Produktion in jeder Gemeinde

6.1.4.1 Landwirtschaftliche Nutzfläche

Die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche in den Szenarien für 2030 wurde unter Berücksichtigung mehrerer Einflussgrößen geschätzt, darunter der jährliche Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrsflächen, die Wiedervernässung von Moorflächen und die verpflichtende Stilllegung von Ackerland im Rahmen der GAP-Anforderungen (Tabelle 6-4).

Tabelle 6-4: Übersicht der Annahmen für die Haupteinflussfaktoren auf die Veränderung der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Szenarien für das Jahr 2030

Szenario	Flächenverbrauch durch Siedlungs- und Verkehrsfläche in Bayern	Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorflächen	Verpflichtende Stilllegung von Ackerland
Niedrig	4.111 ha/a	270 ha/a	6 %
Mittel	2.968 ha/a	203 ha/a	5 %
Hoch	1.825 ha/a	135 ha/a	4 %

Zusätzlich wurden in den Szenarien die Anteile jeder Kultur an der gesamten Ackerfläche einer Gemeinde geschätzt, und der jährliche Flächenverbrauch wurde entsprechend dem Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche einer Gemeinde an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche Bayerns auf alle Gemeinden verteilt. Im niedrigen Szenario wird davon ausgegangen, dass der jährliche Flächenverbrauch unvermindert im Mittel der Jahre 2013 – 2020 fortschreitet (11,3 ha täglich)³. Im hohen Szenario wird das politische Ziel von 5 ha täglich erreicht und im mittleren Szenario wird der Mittelwert zwischen dem niedrigen und dem hohen Szenario angesetzt. Die verpflichtende Stilllegung von mindestens vier Prozent des Ackerlands im Rahmen der GAP hinsichtlich des guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustands (GLÖZ 8)⁴ wurde gleichmäßig verteilt und nur auf das Ackerland einer Gemeinde bezogen. Die GLÖZ 8-Regel ist verpflichtend für alle Betriebe, es können jedoch weitere Flächen im Umfang bis zu 6 % stillgelegt werden, wofür Zahlungen im Rahmen der Öko-Regelungen (ÖR) der GAP beantragt werden können. Insbesondere die Stilllegung von zwei zusätzlichen Prozent Ackerfläche wird mit 1.300 €/ha (+ 1 %) bzw. 500 €/ha (+ 2 %) stark unterstützt⁵. Die Wiedervernässung von ehemaligen Moorstandorten wurde auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche einer Gemeinde bezogen, mit der Annahme, dass Ackerland in Dauergrünland umgewandelt wird, aber aufgrund der Wiedervernässung nur 50 % des Ertrags von extensiv genutztem Dauergrünland⁶ erzielt wird. Je nach Regierungsbezirk beläuft sich der Frischmasseertrag damit auf 9,1 – 12,1 t_{FM}/a. Nach einem Bericht des Bayerischen Obersten Rechnungshof (ORH) müssten jährlich 2.750 ha Moore wiedervernässt werden, um das von der Staatsregierung ausgegebene Ziel Klimaneutralität bis 2040 zu erreichen.⁷ Dieses Ziel wird aber von vielen als äußerst ambitioniert eingeschätzt. Im Zeitraum 2014 – 2018 wurden laut dem Bericht des ORH jährlich etwa 135 ha Moorflächen wiedervernässt. Dieser Wert wird im Rahmen des hohen Szenarios für die Berechnungen verwendet. Für das mittlere und das niedrige Szenario wird dieser Parameter um 50 % (mittel) bzw. 100 % (niedrig) gesteigert, da die Staatsregierung die Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorflächen nochmals verstärkt anreizen möchte (Moorbauernprogramm). Anhand der Zahlen in Tabelle 6-4 wird sehr deutlich, dass die

³ <https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/flaechensparen/verbrauchsbericht.htm>

⁴ StMELF – Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in gutem landwirtschaftlichem und ökologischem Zustand (GLÖZ), Stand März 2023.

⁵ StMELF – Merkblatt zu den Ökoregelungen, Stand März 2024.

⁶ Extensiv genutztes Dauergrünland wird in der Ertragsberichtserstattung der LfL als "Weiden, Mähweiden, Almen bezeichnet.

⁷ ORH – Beratende Äußerung zur Renaturierung von Mooren, Oktober 2021.

Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorflächen im Vergleich zum Flächenverbrauch für Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur nur eine untergeordnete Rolle einnimmt.

6.1.4.2 Berücksichtigung von Natur- und Umweltschutz in der pflanzlichen Produktion

Die Erzeugung sowie die Nutzung von Biomasse für die Biogasproduktion und der Schutz der Natur stellen keinen Widerspruch dar. Vielmehr kommt es darauf an, dass die pflanzliche Produktion in Einklang mit den Schutzziele für Natur und Umwelt erfolgt. Im Rahmen von finanziell unterstützten Förderprogrammen wie dem Kulturlandschaftsprogramm (KULAP), dem Vertragsnaturschutzprogramm (VNP) und den Ökoregelungen (ÖR) erbringen Landwirte in Bayern freiwillig Leistungen zu einer nachhaltigen und umweltgerechten Bewirtschaftung der Kulturlandschaft. Die Leistungen der Landwirte sind vielfältig und können unterschiedlichen Kategorien zugeordnet werden. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden bei der Berechnung der Biomasseproduktion aus der pflanzlichen Produktion Maßnahmen berücksichtigt, die Leistungen in den folgenden vier Kategorien erbringen:

1. Biodiversität und Artenvielfalt durch:
 - a. Erhalt artenreicher Grünlandbestände mit Nachweis von mindestens 4 bzw. 6 Kennarten⁸,
 - b. Extensive Grünlandnutzung zur Schaffung von Lebensräumen für Wildtiere mit Nutzungsverbot vor dem 01.07. oder Erhalt von ganzjährigen Altgrasstreifen oder -flächen auf 5 bis 20 % der Fläche,
 - c. Vielfältige Fruchtfolgen mit mindestens fünf verschiedenen Hauptfruchtarten auf Ackerflächen,
 - d. Jährlich wechselnde oder feste Blühflächen zur Schaffung von Wirts-, Nahrungs- und Schutzpflanzen für Wildtiere, Bienen oder Nützlinge,
 - e. Extensive Ackernutzung für Feldbrüter und Ackerwildkräuter mit Verzicht auf den Anbau von Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln, Klee und Ackergras, mindestens 2 Winterungen (Getreide) sowie dem Verzicht auf den Einsatz chemischer, mechanischer und thermischer Unkrautbekämpfung und Bewirtschaftungsruhe nach der Saat im Frühjahr bis einschließlich 30.06. eines Jahres,
 - f. Brachlegung auf Ackerflächen mit Selbstbegrünung aus Artenschutzgründen, Bewirtschaftungsruhe von 15.03. bis einschließlich 31.08. eines Jahres und Verzicht auf den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel oder Brachlegung von Wiesen aus Artenschutzgründen,
 - g. Umwandlung von Ackerland in Grünland,
 - h. Extensive Mähnutzung naturschutzfachlich wertvoller Lebensräume (Wiesenbrüterlebensräume, Artenreiche Wiesen, Nass- und Feuchtwiesen, Magerrasen und Heiden, Streuwiesen, Streuobstwiesen, Sonderlebensräume einschließlich Biberlebensräume und Gewässerrandstreifen) mit Verzicht auf Grünlandumbruch und verspätete Schnittzeitpunkte (frühestens ab 01.06.),
 - i. Ökologischer Landbau.

⁸ Kennarten sind Indikatoren für artenreiches Wirtschaftsgrünland und in der LfL-Information "Artenreiches Grünland" definiert.

2. Boden und Gewässerschutz durch
 - a. Extensive Grünlandnutzung entlang von Gewässern und in sonstigen sensiblen Gebieten,
 - b. Verzicht auf Intensivfrüchte (Winterweizen, Raps, Mais, Kartoffeln, Körnerleguminosen) und obligatorische Winterbegrünung in wasserwirtschaftlich sensiblen Gebieten,
 - c. Gewässer- und Erosionsschutzstreifen am Rand von Ackerflächen entlang von angrenzenden Seen, Flüssen, Bächen; in Geländemulden oder bei erosionsgefährdeten Hangflächen ohne jegliche Düngung, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung.
3. Klimaschutz durch
 - a. Extensive Grünlandnutzung mit Verzicht auf Mineraldüngung, chemischen Pflanzenschutz, Begrenzung des Viehbesatz und der ausgebrachten Menge Wirtschaftsdünger,
 - b. Umwandlung von Ackerland in Grünland entlang von Gewässern und in sonstigen sensiblen Gebieten.
4. Erhalt der Kulturlandschaft durch
 - a. Produktionsverfahren wie extensive Futtergewinnung (Heumilch),
 - b. Mahd von Steilhangflächen,
 - c. Weinbau in Steil- und Terrassenlagen,
 - d. Streuobst,
 - e. Flächenbereitstellung zur dauerhaften Anlage von Struktur- und Landschaftselementen.

Naturschutzrelevante Maßnahmen (vgl. Nr. 1) werden insbesondere, aber nicht ausschließlich auf Flächen erbracht, die innerhalb einer der folgenden definierten Gebietskulissen liegen:

- Natura 2000-Gebiete, Naturschutzgebiete, Nationalparke, Biosphärenreservate, gesetzlich geschützte Biotope, Streuobstbestände und Wiesenbrütergebiete,
- Nationale Naturmonumente, Naturdenkmäler und geschützte Landschaftsbestandteile,
- Flächen mit Vorkommen geschützter oder gefährdeter Arten
- Flächen zum Aufbau des Biotopverbunds nach Art. 19 Abs. 1 BayNatSchG,
- Gewässerrandstreifen und Flächen, auf denen eine besonders naturverträgliche Weidetierhaltung gefördert wird.

Die INVEKOS-Datenbank beinhaltet die Informationen über diese freiwilligen Maßnahmen zum Natur- und Umweltschutz auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Häufig geht mit der Umsetzung dieser Maßnahmen auch eine Reduktion des Ertrags einher, sodass dafür eine finanzielle Kompensation gewährt wird. Die spezifischen Anforderungen an die Maßnahmen und die Höhe der Kompensationen sind detailliert in den Merkblättern zum KULAP und VNP des Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (StMELF) sowie des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) festgelegt. Es ist dabei möglich, verschiedene Maßnahmen auf einer Fläche zu kombinieren, wie es im Rahmen des KULAP oder VNP vorgesehen ist.

Eine umfassende Untersuchung des Einflusses dieser Maßnahmen auf die Erträge landwirtschaftlich genutzter Flächen liegt nach unserem Kenntnisstand nicht vor. Um dennoch deren Einfluss

abschätzen zu können, wurde ein vereinfachter Ansatz gewählt: Es wird angenommen, dass der maximal erzielbare Deckungsbeitrag pro Hektar bei 1.000 € liegt und dass die Kompensation einer freiwilligen Maßnahme mit 10 € den Ertrag um 1 % mindert. Demnach wäre der Ertrag einer Fläche mit freiwilligen Maßnahmen zum Natur- und Umweltschutz nur ein Bruchteil derjenigen einer unbeeinflussten Fläche. Es wird weiterhin angenommen, dass nur die Maßnahme mit der höchsten Kompensation für die Berechnung maßgeblich ist und dass es zu keiner Kumulierung dieses produktionseinschränkenden Effekts kommt, wenn mehrere Maßnahmen auf derselben Fläche umgesetzt werden.

Für Flächen, auf denen Maßnahmen umgesetzt werden, lässt sich die auf dieser Fläche produzierte Biomasse, $B_{f,k}$, berechnen, indem man die Nutzfläche, $F_{f,k}$, mithilfe eines Korrekturfaktors (u_f) normalisiert und diesen Wert mit dem kultur- und regionspezifischen Ertrag, $e_{j,k}$, multipliziert:

$$B_{f,k} = F_{k,f} \cdot u_f \cdot e_{b,k} \quad (7)$$

Der Flächenkorrekturfaktor, u_f , wird wie folgt berechnet:

$$u_f = 100 \% - \max(x_f) \cdot \frac{1 \%}{10 \text{ €}} \quad (8)$$

Die normalisierte Nutzfläche je Gemeinde für die Jahre 2018 bis 2022 wurde als Grundlage verwendet, um zu bestimmen, welcher Anteil der Nutzfläche jährlich durch die Umsetzung von Maßnahmen zum Natur- und Umweltschutz rechnerisch nicht zur Verfügung steht.

6.1.4.3 Szenarien in der pflanzlichen Produktion

Für jede Gemeinde und jeden Flächenstatus (Ackerland, Dauergrünland, Sonder- und Dauerkulturen) wurde auf Basis der normalisierten Nutzflächen ein lineares Modell entwickelt. Dabei wurden die Beobachtungsjahre 2018 bis 2022 regressiert auf den Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche, der aufgrund von freiwilligen produktionseinschränkenden Maßnahmen (siehe Kapitel 6.1.1.1) nicht mehr verfügbar ist. Die in diesen Modellen geschätzten Steigungskoeffizienten (Änderungsraten) wurden genutzt, um den Anteil der durch produktionseinschränkende Maßnahmen nicht verfügbaren Flächen in den verschiedenen Szenarien zu bestimmen. Abhängig vom Szenario wurde die modellbasierte jährliche Veränderungsrate entweder abgeschwächt oder verstärkt (Tabelle 6-5). Im niedrigen Szenario wird aufgrund der angepassten Modelle eine Reduktion der normalisierten Nutzfläche durch eine verstärkte Umsetzung von produktionseinschränkenden Maßnahmen erwartet, während im Szenario „Hoch“ ein Rückgang dieser Maßnahmen prognostiziert wird.

Tabelle 6-5: Zusätzliche Anpassung der jährlichen Änderungsrate des Anteils der durch produktionseinschränkende Maßnahmen nicht verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzflächen in einer Gemeinde

Szenario	Anpassung der Änderungsrate
Niedrig	+0,5 %-Punkte/a
Mittel	0,0 %-Punkte/a
Hoch	- 0,5 %-Punkte/a

Der kultur- und regionsspezifische Ertrag wird für die wichtigsten Nutzungen von Ackerland und Dauergrünland vom LfStat für jeden Regierungsbezirk Bayerns ermittelt und jährlich berichtet [19]. Die Daten der Jahre 2016-2022 wurden herangezogen um den arithmetischen Mittelwert des Ertrags je Regierungsbezirk für die Nutzungen Winterweizen (einschließlich Dinkel und Einkorn), Roggen und Wintermenggetreide, Wintergerste, Sommergerste, Körnermais/Mais zum Ausreifen (einschließlich Corn-Cob-Mix), Triticale, Hafer, Kartoffeln, Zuckerrüben, Winterraps, Grünmais/Silomais (einschließlich Lieschkolbenschrot), Erbsen (ohne Frischerbsen), Ackergras (einschließlich Mischungen mit überwiegend Gras), Wiesen (Schnittnutzung) und Weiden (einschließlich Mähweiden und Almen) zu berechnen. Für Nutzungen, für die keine Daten aus der Statistik vorliegen, wurden die Basisdaten der LfL [18] oder Literaturangaben und Expertenschätzungen verwendet. Da die Erträge von Ackergras, Wiesen und Weiden in Trockenmasse berichtet werden, wurden diese mit einem einheitlichen TM-Gehalt von 28,2 % (Wert von Grassilage in KTBL-Schrift 526) in Frischmasse umgerechnet.

6.1.4.4 Nebenprodukte

Neben dem Hauptprodukt entstehen in der pflanzlichen Produktion in der Regel Erntenebenprodukte, meistens in Form von Stroh, Blättern oder Kraut. Für diese Biomasse werden zwar keine Erträge berichtet, es existieren aber Schätzungen zum Verhältnis zwischen der Masse von Haupt- und Nebenprodukt (HNV). Die Informationen zum HNV der unterschiedlichen Kulturen ergeben sich aus den Basisdaten der LfL [17] und für Rebentrester aus Expertenschätzungen der LWG (Landesanstalt für Wein- und Gartenbau). Bei der Gewinnung von Nebenprodukten muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass aus technischer Sicht niemals die gesamte Biomasse geborgen werden kann. Daher wurde zusätzlich zum HNV der Parameter Bergequote eingeführt, der die technischen Möglichkeiten zur Bergung des Nebenprodukts beschreibt. Die Bergequote für Getreidestroh wurde über alle Getreidekulturen hinweg auf konservative 67,5 % (Mittelwert aus Minimum und Maximum des Bergefaktors, der am DBFZ zur Ermittlung der Potenziale für die Ressourcendatenbank angesetzt wird [19]), der von Hopfenrebenhäcksel auf 100 % und der von Rebentrester auf 60,0 % festgelegt. Wie in Kapitel 6.1 dargelegt, ist es Grundvoraussetzung, dass Nebenprodukte nur dann zur Biogasnutzung eingesetzt werden, wenn die Humusbilanz dies zulässt und wenn gewährleistet ist, dass die Gärreste wieder auf die Flächen zurückgeführt werden, von denen die Nebenprodukte gewonnen wurden. Für die Berechnung der Produktion von Getreidestroh wurde angenommen, dass dieses immer zu 100 % nutzbar ist, auch weil Getreidestroh aktuell im Wesentlichen als Einstreu verwendet wird. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass die Nutzung von Getreidestroh stets unter Berücksichtigung einer ausreichenden Humusreproduktion erfolgt. Für die anderen Nebenprodukte (Rübenblatt, Leguminosen-, Mais-, Raps-, Sonnenblumenstroh, Hopfenrebenhäcksel und Rebentrester) wurde zur Berechnung im Ist-Stand und im Szenario „Hoch“ angenommen, dass die Gärreste aus der Vergärung dieser Substrate auf die zugehörigen Gewinnungsflächen zurückgeführt werden. In den Szenarien „Niedrig“ und „Mittel“ wurde die Annahme getroffen, dass die Rückführung der Gärreste nur eingeschränkt möglich ist, daher wurden nur 50 % bzw. 75 % der anderen Nebenprodukte für die Berechnung des technischen Potenzials angesetzt. Das Potenzial des Nebenprodukts ergibt sich somit aus der Produktionsmenge des Hauptprodukts in einer Gemeinde (falls bei der Produktion des Hauptprodukts ein Nebenprodukt anfällt), multipliziert mit der Bergequote und multipliziert mit dem Nutzungsfaktor.

6.1.5 Biomasseproduktion aus der Tierhaltung

Die für Biogaszeugung relevante Biomasseproduktion in der Tierhaltung umfasst ausschließlich den Anfall von Wirtschaftsdüngern. Für die Biogaszeugung relevante Wirtschaftsdünger fallen in Abhängigkeit des Haltungssystems entweder als Gülle oder als Festmist an. Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass nur die Wirtschaftsdünger erfassbar sind, die in der Zeit anfallen, während der sich die Tiere in Stallungen befinden ($ff_{j,l}$).

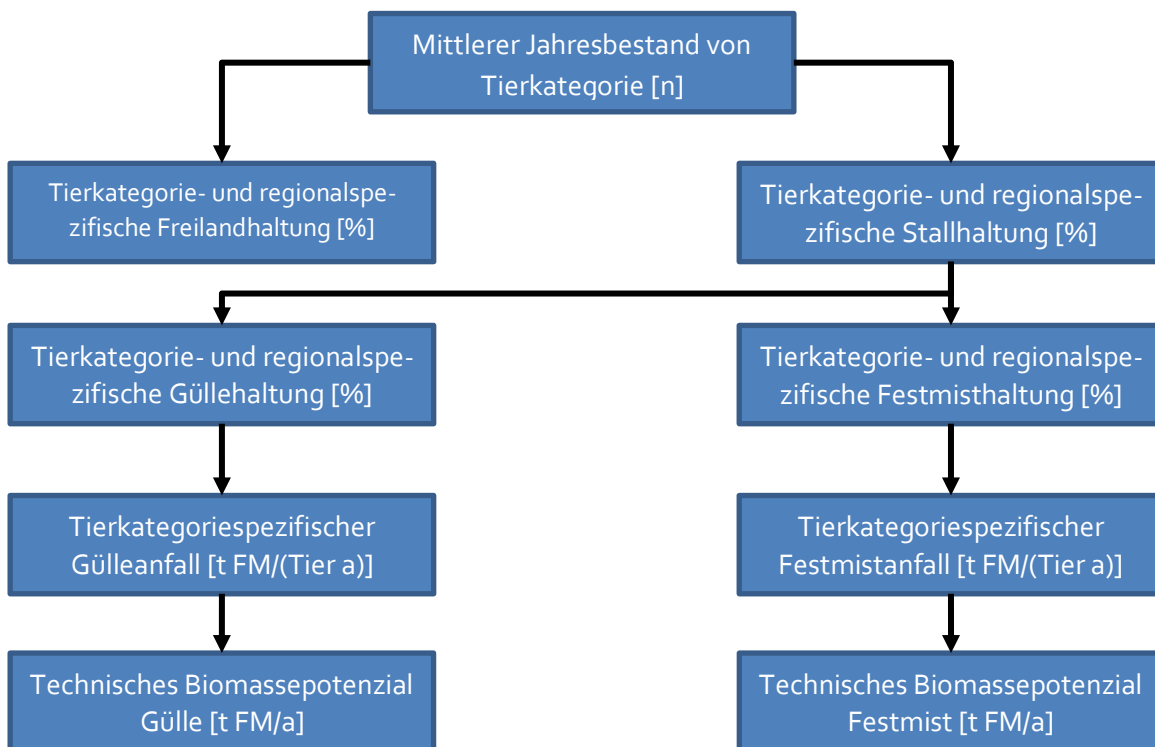


Abbildung 6-10: Ablauf zur Rückrechnung des Biomasseanfalls in der Tierhaltung in jeder Gemeinde

Die Grundlage für die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls bilden die Angaben zum mittleren Jahresbestand einer Tierkategorie innerhalb einer Gemeinde in den INVEKOS-Daten. In Verbindung mit den Angaben, zu welchem Anteil welche Tierart in Festmist- oder Gülle-basierten Systemen gehalten wird, $hf_{j,l}$ (siehe Kapitel 6.1.3) wurde für jede Tierkategorie ermittelt, i) welcher Anteil der Tiere in Festmist- bzw. Gülle-basierten Systemen gehalten wird und ii) zu welchem Anteil des Jahres Freiland- oder Weidehaltung stattfinden wird. Auf diese Weise können die mittleren Jahresbestandszahlen den entsprechenden Haltungsformen zugeordnet werden. Unter Einbeziehung der tierkategoriespezifischen Daten zum Gülle- bzw. Festmistanfall $wa_{k,l}$ [18] werden der gesamte Wirtschaftsdüngeranfall je Tierkategorie sowie die Gesamtmengen für jede Gemeinde berechnet. Für die Umrechnung der Volumenangaben zum Gülleanfall wird eine Dichte für Gülle von 1 t/m^3 angesetzt. Die Wirtschaftsdünger von Tierkategorien derselben Tierart wurden schließlich auf Gemeindeebene aggregiert.

$$FM_k = \sum_l n_l \cdot wa_{k,l} \cdot hf_{j,l} \cdot ff_{j,l} \quad (9)$$

Bei der Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls in den Szenarien blieben die Faktoren, die den Gülle- bzw. Festmistanfall, die Haltungsform und den Anteil der Freilandhaltung bestimmen, unverändert. Die Anpassungen erfolgten lediglich bei den Tierzahlen, die gemäß der im Abschnitt 6.1.3.3 (Szenarien in der Tierhaltung) beschriebenen Methodik modifiziert wurden. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, Veränderungen in den Tierbeständen zu berücksichtigen, während die grundlegenden Charakteristika der Haltungssysteme und der Wirtschaftsdüngerproduktion konstant gehalten werden.

6.2 Biogaspotenziale aus der Abfallwirtschaft

Es wurden fünf Stoffströme aus dem Bereich der Abfallwirtschaft identifiziert, die ein relevantes technisches Biogaspotenzial aufweisen und daher für die Potenzialberechnung des Ist-Stands sowie der drei Szenarien verwendet wurden (Tabelle 6-6).

Tabelle 6-6: Definition der betrachteten Stoffströme aus dem Bereich der Abfallwirtschaft für die Berechnung der Biogaspotenziale

Stoffstrom	Definition
Biogut	Bioabfälle, die von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE) über die Biotonne oder entsprechende Bringsysteme getrennt erfasst werden
Organik im Hausmüll	Nativ-organische Abfälle (Bioabfälle), die von den örE über den Hausmüll erfasst werden
Krautiges Grüngut	Krautige pflanzliche Abfälle (z. B. Rasenschnitt, Unkraut, Laub etc.), die von den örE über Holsysteme (z. B. Gartenabfallsäcke) oder Bringsysteme (z. B. Grüngutsammelplätze, Recyclinghöfe) getrennt oder gemeinsam mit holzigem Grüngut (Baum- und Strauchschnitt) erfasst werden
Gewerbliche Lebensmittelabfälle	Lebensmittelabfälle, die auf den Stufen 2-4 der folgenden Lebensmittelkette (Delegierter Beschluss (EU) 2019/1597 der Kommission) anfallen: 1. Primärerzeugung 2. Verarbeitung und Herstellung 3. Einzelhandel und andere Formen des Vertriebs von Lebensmitteln 4. Gaststätten und Verpflegungsdienstleistungen 5. private Haushalte
Vergärbare Landschafts- & Straßenpflegematerial	Biomasse von Flächen aus der Bayerischen Biotopkartierung und des Vertragsnaturschutzprogramms (VNP) sowie aus dem Intensivbereich der Pflege von Straßen (Autobahnen; Bundes-, Staats-, Kreis-, Gemeindestraßen; Wirtschaftswege), deren Aufwuchs sich für eine Biogasnutzung eignet

Die Datenlage zu den angefallenen Mengen dieser Stoffströme in Bayern im Bezugsjahr 2021 stellte sich sehr unterschiedlich dar (Tabelle 6-7). Auf der Ebene der Kommunen, also der Ebene, die der Energie-Atlas darstellt und auf der die Ergebnisse der Potenzialberechnungen ausgewiesen werden sollten, waren keine Daten für die fünf Stoffströme verfügbar.

Für die Stoffströme Biogut, Organik im Hausmüll und krautiges Grüngut stellte das LfU Daten auf der Ebene der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE), also in der Regel Landkreise, kreisfreie Städte oder Zusammenschlüsse (Zweckverbände) dieser, zur Verfügung. Für die gewerblichen Lebensmittelabfälle waren lediglich Daten des Statistischen Bundesamts für ganz Deutschland und auch nur für das Jahr 2020 vorhanden. Für das vergärbare Landschaftspflegematerial wurden Daten des Biogas-Forums Bayern für ganz Bayern aus dem Jahr 2019 verwendet, die durch Informationen des Bayerischen Artenschutzentrums des LfU auf das Bezugsjahr 2021 aktualisiert werden konnten.

Tabelle 6-7: Betrachtete Stoffströme aus dem Bereich der Abfallwirtschaft für die Berechnung der Biogaspotenziale sowie Herkunft und regionale Ebene der dazugehörigen Mengendaten

Stoffstrom	Rohdaten	Regionale Ebene	Datenquelle
Biogut	Biogutmenge 2021	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger	LfU [20]
Organik im Hausmüll	Hausmüllmenge 2021	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger	LfU [20]
Krautiges Grüngut	Grüngutmenge 2021	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger	LfU [20]
Gewerbliche Lebensmittelabfälle	Lebensmittelabfälle 2020	Deutschland	Statistisches Bundesamt [21]
Vergärbares Landschafts- & Straßenpflegematerial	Landschaftspflegematerial 2021 Straßenmähtagut 2023	Bayern	Biogas-Forum Bayern [22] LfU [23] LWG* [24]

* LWG: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau

6.2.1 Berechnung des Ist-Stand-Biogaspotenzials aus der Abfallwirtschaft

Als vorbereitende Schritte für die Umrechnung der in Tabelle 6-7 genannten Rohdaten in die Ist-Mengen der fünf Abfallströme für jede bayerische Kommune mussten folgende Parameter für jede Kommune recherchiert bzw. berechnet werden:

1. Anzahl Einwohner (Ew)
2. Fläche in km²
3. Einwohnerdichte in Ew/km²
4. Siedlungsstruktur (ländlich, ländlich-dicht, städtisch, großstädtisch)
5. Zugehöriger öRE

Für die Anzahl der Einwohner und der Fläche der Kommunen wurden aktuelle Werte für 2021 des Statistischen Bundesamts verwendet. Die Einwohnerdichte wurde aus diesen Werten berechnet. Für die Siedlungsstruktur wurde die in der Abfallwirtschaft gängige Einteilung in „ländlich“ (<150 Ew/km²), „ländlich-dicht“ (150-750 Ew/km²), „städtisch“ (750-1.500 Ew/km²) und großstädtisch (>1.500 Ew/km²) verwendet. Die Zugehörigkeit jeder Kommune zu einem öRE ergibt sich aus dem Landkreis, dem die Kommune angehört ist.

Die anschließende Berechnung der Ist-Mengen der fünf Abfallströme für jede Kommune im Jahr 2021 folgte dem in Tabelle 6-8 dargestellten Schema. Für die drei haushaltsstämmigen Abfallströme (Biogut, Organik im Hausmüll, krautiges Grüngut) wurden die Rohdaten von absoluten Mengen (Mg)⁹ zunächst in spezifische Mengen (kg/Ew) umgerechnet. Diese spezifischen Mengen jedes öRE wurden

⁹ In der Abfallwirtschaft wird üblicherweise als Masseneinheit das Megagramm [Mg] verwendet. Da 1 Mg einer Tonne [t] entspricht, und sich damit keine Umrechnungsproblematik ergibt, wurden in diesem Bericht beide Einheiten benutzt.

den ihnen zugehörigen Kommunen zugewiesen. Da es für diesen Bereich keine kommunenscharfen Daten gibt, wurden alle Kommunen eines öRE dabei als gleichwertig betrachtet. Mithilfe der Einwohnerzahl jeder Kommune wurde im folgenden Schritt die absolute Menge (Mg) der Abfallströme berechnet.

Tabelle 6-8: Berechnungsschritte für die Mengen der fünf betrachteten Stoffströme aus der Abfallwirtschaft von den Rohdaten bis zur Ist-Menge für jede Kommune

Biogut	Organik im Hausmüll	Krautiges Grüngut	Gewerbliche Lebensmittelabfälle	Vergärbare Landschafts- & Straßenpflagematerial
Biogut 2021 in Mg [jeder öRE]	Hausmüll 2021 in Mg [jeder öRE]	Grüngut 2021 in Mg [jeder öRE]	Menge 2020 der Stufen 2-4 der Lebensmittelkette* in Mg [Deutschland]	Fläche mit vergärbarem Landschaftspflagematerial (2021) und Straßenpflagematerial (2023) in ha [Bayern]
↓	↓	↓	↓	↓
Berechnung der spezifischen Menge in kg/Ew für jeden öRE			Berechnung der spezifischen Menge in kg/Ew für Deutschland	Entwicklung von spezifischen Flächen in ha/km ² für vier verschiedene Siedlungsstrukturen
	↓		↓	↓
Zuweisung der spezifischen Menge in kg/Ew zu jeder dem öRE zugehörigen Kommune			Zuweisung der spezifischen Menge in kg/Ew zu jeder Kommune	Zuweisung von spezifischen Flächen in ha/km ² zu jeder Kommune je nach Siedlungsstruktur
	↓		↓	↓
Berechnung der absoluten Menge in Mg für jede Kommune				Berechnung der Gesamtfläche in ha und der Aufwuchsmenge in Mg für jede Kommune
	↓	↓		↓
	Organikanteil im Hausmüll je nach Siedlungsstruktur	Krautiges Grüngut = 50 % des gesamten Grünguts		Technisch nutzbarer Anteil = 30 % des gesamten Aufwuchses

* siehe Tabelle 6-6

Um von der Hausmüllmenge jeder Kommune zur Organikmenge im Hausmüll zu gelangen, wurde jeder Kommune auf Basis der bundesweiten Hausmüllanalyse 2020 [25] entsprechend ihrer Siedlungsstruktur ein Organikanteil im Hausmüll zugewiesen (Tabelle 6-9). Für die Berechnung des krautigen Grünguts aus dem gesamten Grüngut wurde ein krautiger Anteil von 50 % angenommen [26].

Tabelle 6-9: *Organikanteile im Hausmüll je nach Siedlungsstruktur*

Siedlungsstruktur einer Kommune	Einwohnerdichte	Organikanteil im Hausmüll
ländlich	<150 Ew/km ²	39,6 Gew.-%
ländlich-dicht	150-750 Ew/km ²	35,0 Gew.-%
städtisch	750-1.500 Ew/km ²	42,8 Gew.-%
großstädtisch	>1.500 Ew/km ²	42,8 Gew.-%

Bei der Berechnung der gewerblichen Lebensmittelabfälle wurde die absolute Menge (Mg) der Stufen 2-4 der Lebensmittelkette für ganz Deutschland zunächst in eine spezifische Menge (kg/Ew) umgerechnet. Diese spezifische Menge wurde jeder Kommune zugeordnet, was zwar eine gewisse Unschärfe beinhaltet, aber nach Expertenabstimmung den sinnvollsten Weg auf Grundlage der spärlichen Datenlage darstellte. Über die Einwohnerzahl jeder Kommune wurde schließlich die absolute Menge (Mg) an gewerblichen Lebensmittelabfällen berechnet.

Für die Berechnung des vergärbaren Landschaftspflegematerials wurde zunächst für die vier verschiedenen kommunalen Siedlungsstrukturen in einem iterativen Prozess eine spezifische Fläche mit vergärbarem Landschaftspflegematerial bezogen auf die kommunale Gesamtfläche festgelegt und den Kommunen entsprechend ihrer Siedlungsstruktur zugewiesen. Dabei lag die Annahme zugrunde, dass diese spezifische Fläche umso größer sein musste, je geringer die Einwohnerdichte war. Zielgröße des Prozesses war eine Gesamtfläche mit vergärbarem Landschaftspflegematerial für ganz Bayern von ca. 90.000 ha. Diese 90.000 ha ergeben sich aus den 54.000 ha Nasswiesen, Magerwiesen, Streuwiesen, Altgrasfluren, Streuobstwiesen und Landröhricht der Bayerischen Biotopkartierung sowie ca. 30 % der Flächen des Vertragsnaturschutzprogramms (VNP), die den Anforderungen an Landschaftspflegematerial genügen und nicht bereits über die Biotopkartierung erfasst sind [22]. Der Flächenumfang im VNP umfasste 2021 abzüglich von Teichen ca. 130.000 ha [23]. Mit einer spezifischen Fläche von 1,5 ha/km² für die ländlichen Kommunen, von 1,0 ha/km² für die ländlich-dichten Kommunen von 0,5 ha/km² für die städtischen Kommunen und von 0,25 ha/km² für die großstädtischen Kommunen wurde die Zielgröße erreicht.

Auf ähnliche Weise wurde in einem iterativen Prozess eine spezifische Fläche mit vergärbarem Straßenpflegematerial bezogen auf die kommunale Gesamtfläche festgelegt mit der Zielgröße von ebenfalls ca. 90.000 ha. Diese ergab sich aus den Berechnungen der Längen unterschiedlicher Straßenklassen (Autobahnen, Bundesstraßen, Staatsstraßen, Kreisstraßen; Gemeindestraßen, Wirtschaftswege) sowie deren spezifischer Pflegebreiten (Intensivbereich) bei Dittmer [24]. Da rund zwei Drittel der Intensivpflegebereiche nach Dittmer [24] auf Wirtschaftswege entfallen, wurde auch hier angenommen, dass die spezifische Fläche umso größer sein muss, je geringer die Einwohnerdichte ist. Somit wurden für das vergärbare Straßenpflegematerial die gleichen spezifischen Flächen verwendet wie für das vergärbare Landschaftspflegematerial.

Tabelle 6-10: Spezifische Flächen mit vergärbarem Landschafts- & Straßenpflegematerial in ha pro km² Gesamtfläche einer Kommune je nach Siedlungsstruktur

Siedlungsstruktur einer Kommune	Einwohnerdichte	spezifische Fläche mit vergärbarem	
		Landschaftspflegematerial	Straßenpflegematerial
ländlich	<150 Ew/km ²	1,5 ha/km ²	1,5 ha/km ²
ländlich-dicht	150-750 Ew/km ²	1,0 ha/km ²	1,0 ha/km ²
städtisch	750-1.500 Ew/km ²	0,5 ha/km ²	0,5 ha/km ²
großstädtisch	>1.500 Ew/km ²	0,25 ha/km ²	0,25 ha/km ²

Über die Gesamtfläche jeder Kommune wurde die absolute Fläche mit vergärbarem Landschafts- und Straßenpflegematerial für jede Kommune berechnet und mit der durchschnittlichen spezifischen Aufwuchsmenge von 8 Mg FM/ha (bei einem Trockenmassegehalt von 50 %) multipliziert. Für die Ermittlung des technischen Potenzials wurde in Anlehnung an Letalik et al. [27] von einem technisch nutzbaren Anteil von 30 % der gesamten Aufwuchsmenge ausgegangen.

Die ermittelten Mengen der einzelnen Stoffströme wurden anschließend mit den in Tabelle 6-11 angegebenen spezifischen Biogasausbeuten und spezifischen Methangehalten multipliziert. Das Ergebnis dieser Berechnung war schließlich für jede bayerische Kommune ein technisches Methanpotenzial für fünf verschiedene Stoffströme aus der Abfallwirtschaft.

Tabelle 6-11: Verwendete Biogasausbeuten und Methangehalte der betrachteten fünf Stoffströme aus der Abfallwirtschaft für die Berechnung der Methanpotenziale

Stoffstrom	Biogasausbeute	Methan- gehalt	Referenzsubstrat
Biogut	100 m ³ /Mg FM	60 %	Bioabfall, 40 % TM [28]
Organik im Hausmüll	120 m ³ /Mg FM	60 %	Speisereste, 16 % TM [28]
Krautiges Grüngut	55 m ³ /Mg FM	50 %	Krautiges Grüngut [29]
Gewerbliche Lebensmittelbfälle	140 m ³ /Mg FM	60 %	Speisereste, 16 % TM [28]
Vergärbares Landschafts- & Straßenpflegematerial	128 m ³ /Mg FM	50 %	Gras, Landschaftspflege, 50 % TM [28]

6.2.2 Ziele der Abfallwirtschaft im Hinblick auf organische Abfälle

6.2.2.1 Steigerung der Abtrennung von nativ-organischen Abfällen aus dem Hausmüll

Betrachtet man die gegenwärtige Hausmüllzusammensetzung in Deutschland, so wird diese zu ca. zwei Dritteln durch Wertstoffe bestimmt. Zu diesen zählen alle Stoffe, die nach ihrem Gebrauch wieder genutzt, zu anderen Produkten umgewandelt oder in Rohstoffe aufgespaltet werden können, also Bioabfälle, Kunststoffe, Altpapier, Altglas etc. Mit ca. 40 % nehmen die nativ-organischen Abfällen (Bioabfälle) den Hauptteil des Hausmülls ein (Abbildung 6-11).

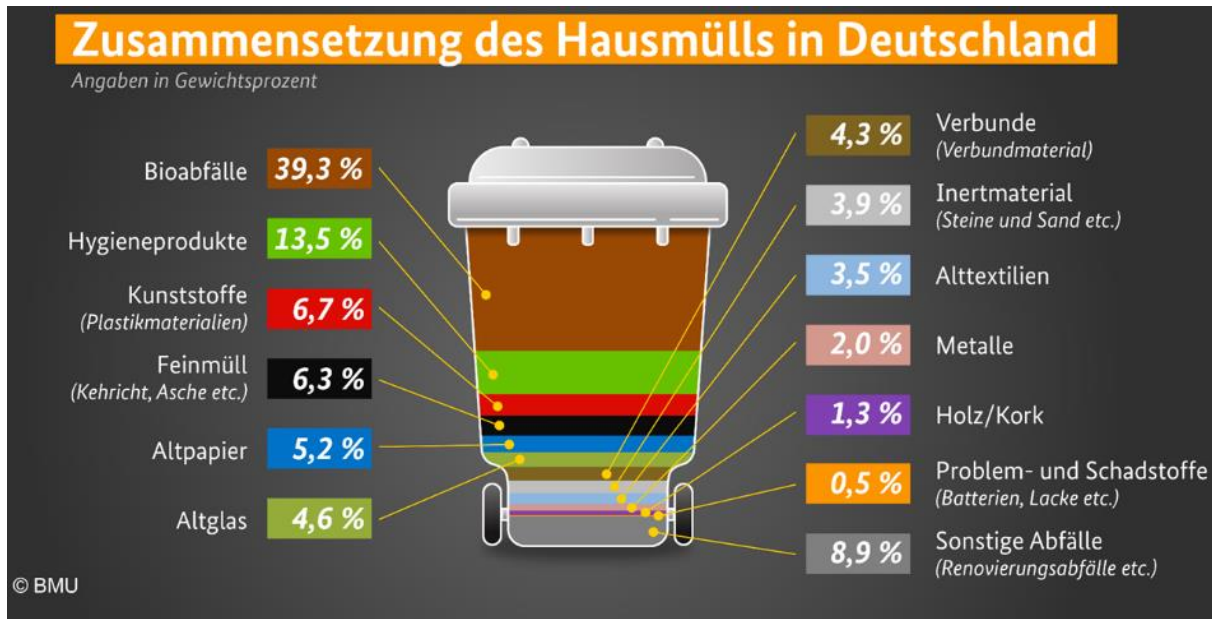


Abbildung 6-11: Zusammensetzung des Hausmülls in Deutschland [25]

Vor diesem Hintergrund gibt es von politischer Seite das Bestreben, die nativ-organischen Abfälle (Bioabfälle) im Hausmüll deutlich zu reduzieren. Bereits im November 2020 hat die Umweltministerkonferenz beschlossen, dass bis 2025 der Anteil an Bioabfällen im Hausmüll um ein Drittel bzw. bis 2030 sogar um 50 % reduziert werden soll.

Das Land Rheinland-Pfalz hat diese Vorstellungen bereits im aktuellen „Abfallwirtschaftsplan Siedlungsabfälle 2022“ umgesetzt [30]. Bis zum Jahr 2030 dürfen die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) in Rheinland-Pfalz je nach Siedlungsdichte nur noch maximal 20 kg bzw. 28 kg Bioabfälle je Einwohner (Ew) und Jahr im Restmüll belassen (Tabelle 6-12). Dies entspricht in etwa einer Halbierung des derzeitigen Status quo. Die tatsächliche Menge an Bioabfall im Hausmüll ist durch regelmäßig durchgeführte Hausmüllanalysen (alle 5 Jahre) zu belegen.

Tabelle 6-12: Zielwerte für maximale Anteile an Bioabfall im Restmüll in Rheinland-Pfalz bis 2023 [30]

Siedlungsstruktur		Maximaler Anteil an Bioabfall (Küchen- / Nahrungs- / Gartenabfälle; ohne verpackte Lebensmittel) im Restabfall
ländlich	<150 Ew/km ²	20 kg/Ew*a
ländlich-dicht	150-750 Ew/km ²	20 kg/Ew*a
städtisch	>750 Ew/km ²	28 kg/Ew*a

Es ist davon auszugehen, dass auch andere Bundesländer diesem Beispiel folgen. Der Bund hat ebenfalls bereits angedeutet, dass sich in der großen Novelle der Bioabfall-Verordnung ähnliche Zielvorgaben für Bioabfälle wiederfinden werden. Perspektivisch wird hierbei ein Paradigmenwechsel stattfinden: Nicht mehr die tatsächlich erfasste Menge an Bioabfällen (Bio- und Grüngut) wird als Indikator einer erfolgreichen Erfassung gewertet, sondern die im Restabfall verbliebene Menge wird als Bewertungsgröße herangezogen werden. Es ist davon auszugehen, dass langfristig im Mittel die heutige Bioabfallmenge im Restabfall halbiert werden muss.

Zudem ist davon auszugehen, dass die Anschlussquote an die Biotonne ebenfalls erhöht werden wird. Hierbei wird die freiwillige Biotonne durch eine Pflichtbiotonne ersetzt werden. Die Eigenkompostierung allein wird keinen hinreichenden Ausnahmetatbestand mehr für die Befreiung von der Biotonne darstellen. Die Zielvorgabe heißt nicht mehr „Biotonne oder Eigenkompostierung“, sondern „Eigenkompostierung plus kleinere Biotonne“.

Sowohl von Verbandseite der privaten Entsorgungswirtschaft (BDE e.V.) als auch von Seiten der Umweltverbände (NABU, BUND) wird eine flächendeckende Einführung der Biotonne in Deutschland (Pflichtbiotonne) gefordert. Damit ließen sich Bioabfälle, die derzeit über den Hausmüll entsorgt werden, getrennt als Biogut erfassen und einer hochwertigen Verwertung (Vergärung mit Nachkompostierung des Gärprodukts und dessen Einsatz in der Landwirtschaft) zuführen.

6.2.2.2 Reduzierung der Lebensmittelabfälle

Grundlage für die Nachhaltigkeitspolitik der Bundesregierung ist die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung mit dem Titel „Die Transformation unserer Welt“. Die Agenda 2030 wurde am 25. September 2015 von den Staats- und Regierungschefs der 193 Mitgliedstaaten der Vereinten Nationen in New York verabschiedet. Sie umfasst 17 globale Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs). Diese sind bis zum Jahr 2030 zu erreichen und gelten universell, d.h. für alle Staaten gleichermaßen. Die SDGs sind als Leitlinien jedoch nicht für die Länder verpflichtend.

Das Sustainable Development Goal 12 bildet im Rahmen der 17 Ziele die Förderung nachhaltiger Konsum- und Produktionsmuster ab. Deutschland hat sich mit der Nationalen Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung dem Ziel der Vereinten Nationen verpflichtet, die Lebensmittelverschwendung zu reduzieren.

Ziel ist es, bis 2030 die Lebensmittelverschwendung in Deutschland auf Handels- und Verbraucher-ebene zu halbieren und Lebensmittelabfälle entlang der Produktions- und Lieferkette zu verringern.

Die Definition von „Lebensmittel“ ist in der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates (2) beschrieben und umfasst Lebensmittel als Ganzes, entlang der gesamten Lebensmittelkette von der Erzeugung bis zum Verbrauch. Im Einzelnen handelt es sich hierbei um die Bereiche:

- Primärerzeugung
- Verarbeitung und Herstellung
- Einzelhandel und andere Formen des Vertriebs
- Gaststätten und Verpflegungsdienstleistungen
- Private Haushalte

Die EU-Kommission wurde nun mit einem Gesetzesvorhaben aktiv und will für die Vermeidung von Essensabfällen und gegen Lebensmittelverschwendung vorgehen. So sollen die EU-Länder bis 2030 Lebensmittelabfälle, die im Einzelhandel und beim Verbraucher entstehen um 30 % reduzieren. Abfälle, die bei Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln entstehen, sollen um 10 % verringert werden.

Zur Abschätzung des Vermeidungspotenzials ist zwischen vermeidbaren und nicht vermeidbaren Lebensmittelabfällen zu unterscheiden.

6.2.2.3 Erfassung und hochwertige Verwertung von Grüngut

Krautiges Grüngut, das derzeit nicht durch die öRE erfasst wird, wird entweder durch Eigenkompostierung verwertet oder anderweitig (z. B. durch Liegenlassen vor Ort, z. T. auch durch illegale Ablagerung) entsorgt. Damit steht es einer professionellen hochwertigen Verwertung, z. B. zur Erzeugung von Komposten für die (Öko-)Landwirtschaft oder zur Erzeugung von Torfersatzsubstraten für die Erdenindustrie nicht zur Verfügung.

Im Mittel wurden in Deutschland 2020 64 kg/Grüngut je Einwohner und Jahr erfasst, in Bayern waren es 92 kg/Grüngut je Einwohner und Jahr. Der Schwankungsbereich der spezifischen Erfassungsleistung bei den öRE liegt zwischen 0 und 300 kg/Einwohner und Jahr. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass große Grüngutpotenziale derzeit nicht erschlossen werden. Über spezifische Aufwuchsraten und Gartenflächen wurde ein theoretisches Potenzial an krautigem Grüngut, das ca. einen Anteil von 50 % am gesamten Grüngut hat, von 134 kg/Einwohner und Jahr abgeleitet [29].

6.2.2.4 Erfassung und Verwertung von Landschafts- und Straßenpflegematerial

Landschaftspflegematerial entsteht durch das Schneiden von Bäumen, Hecken und Sträuchern sowie durch Mahd. Betrachtet wird hier krautiger Grünschnitt, der prinzipiell auch für eine Biogasnutzung geeignet ist. Landschaftspflegematerial (krautig oder holzig) fällt im Rahmen von Aufträgen oder Fördermaßnahmen der Naturschutzverwaltung an. In aller Regel ist das betrachtete Material als Bioabfall einzustufen und somit vom Abfallerzeuger ordnungsgemäß zu verwerten. Ein Verbrennen am Anfallort (Abfallbeseitigung) ist nur im Ausnahmefall erlaubt. Das Liegenlassen vor Ort ist rechtlich jedoch erlaubt (Bayerische Pflanzenabfall-Verordnung (PflAbfV)). Da Landschaftspflegematerialien oftmals an logistisch schwer erschließbaren Standorten wachsen

(Steil- oder Hanglagen, kein oder nur begrenzter Maschineneinsatz möglich), ist eine Bergung und Verwertung nur bedingt möglich. Vor diesem Hintergrund erfolgt oftmals die Entsorgung direkt auf der Fläche und steht für eine weitere stoffliche oder energetische Nutzung nicht zur Verfügung. Somit ist zwar ein relevantes technisches Potenzial an Landschaftspflegematerialien in Bayern vorhanden, das in der Praxis allerdings nur schwer erschließbar sein dürfte.

Straßenpflegematerial wurde in der Vergangenheit in der Regel gemulcht, da eine Abfuhr und Verwertung häufig unwirtschaftlich waren. Seit dem Volksbegehren „Rettet die Bienen“ ist die Bewirtschaftung der Begleitstreifen entlang von Staats- und Bundesstraßen als Magergrünland mit einer entsprechenden Abfuhr des Mähguts nun gesetzlich vorgeschrieben [24]. Da dieses Material in der Regel als Abfall einzustufen ist, müssen Biogasanlagen, die es als Substrat einsetzen wollen, über eine entsprechende Genehmigung verfügen. Bei Kompostieranlagen kann es dagegen, da diese ohnehin stets Abfallbehandlungsanlagen sind, problemlos eingesetzt werden. Eine wirtschaftliche Logistik- und Verwertungskette für die Vergärung dieses Material ist deshalb bislang noch nicht etabliert. Die weitere Entwicklung ist nur schwer einzuschätzen, die Kompostierung dürfte jedoch aus dem genannten Grund der Hauptverwertungsweg bleiben. In der Praxis dürfte die Erschließung des technischen Potenzials, ähnlich wie beim Landschaftspflegematerial, eher schwierig sein.

6.2.3 Parameter für die Berechnung der drei Szenarien

Um eine Steigerung der getrennt erfassten Biogutmengen zu erzielen, sind zwei Maßnahmen von zentraler Bedeutung: einerseits die Steigerung der Anschlussquote an die Biotonne und andererseits die Reduzierung der Organikmengen im Hausmüll mit der Überführung dieser Mengen in das Biogut.

Eine Vermeidung von Lebensmittelabfällen aus Privathaushalten lässt sich nur durch Verhaltensänderungen im Konsumverhalten aller Bürgerinnen und Bürger erreichen, also in der Form, wie wir Lebensmittel einkaufen oder selbst erzeugen und konsumieren, aber auch, wie wir sie lagern. Dazu bedarf es einer Aufklärungs- und Informationsarbeit auf verschiedenen Ebenen und für verschiedene Zielgruppen. Zu den vermeidbaren Lebensmittelabfällen zählen dabei beispielsweise noch verpackte Lebensmittel, die aufgrund eines überschrittenen Haltbarkeitsdatums weggeworfen werden. Zu den nicht vermeidbaren Lebensmittelabfällen zählen die meisten Küchenabfälle, wie Schalen von Kartoffeln, Eiern, Zwiebeln etc. Vermeidbare Lebensmittelabfälle finden sich sowohl im Biogut als auch im Hausmüll, wobei davon auszugehen ist, dass Verhaltensänderungen, z.B. durch Preissteigerungen, eine Verringerung der verpackten Lebensmittelabfälle herbeiführen, z. B. durch eine bessere Einkaufsplanung im Hinblick auf Mindesthaltbarkeitsdaten, und diese sich dann vorrangig auf den Hausmüll auswirkt.

Eine Steigerung der getrennt erfassten Grüngutmengen lässt sich beispielsweise durch die Schaffung neuer Grüngutsammelplätze erzielen, sodass ein möglichst dichtes Netz solcher Sammelplätze entsteht [31]. Die Mehrzahl der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE), die bezogen auf die spezifische Grüngutsammelmengen zu den 10 % erfolgreichsten öRE zählen, weisen ein solches dichtes Netz an Grüngutsammelstellen auf. Um Grüngut allerdings auch in größerem Umfang für eine Biogaserzeugung nutzen zu können, bedarf es einer getrennten Erfassung des krautigen Anteils bzw. bestimmter gut vergärbare Fraktionen, wie z. B. Rasenschnitt. Da diese Fraktionen allerdings hauptsächlich im Sommerhalbjahr anfallen, während bei bestehenden Bioabfallvergärungsanlagen freie Kapazitäten eher im Winterhalbjahr auftreten, wenn die angelieferten Biogutmengen aufgrund reduzierter Gartenabfallmengen geringer sind, muss eine Konservierung in Form einer Silierung stattfinden [29]. Diese ist jedoch arbeits- und kostenintensiv. Somit wird eine Steigerung der

Biogaspotenzialmengen von krautigem Grüngut eher moderat und vor allem in dem Maße ausfallen, wie dieses Grüngut als Strukturmaterial für die steigende Vergärungsmenge von Biogut erforderlich ist.

Strukturmaterial wird bei der Vergärung von Biogut in drei Bereichen eingesetzt: bei Pfpfenstromfermentern wird dadurch eine bessere Abpressung (fest-/flüssig-Trennung) erreicht, bei diskontinuierlichen Boxenfermentern eine bessere Perkulation und bei der Kompostierung des Gärrestes eine bessere Durchlüftung.

Um eine Reduzierung von gewerblichen Lebensmittelabfällen zu erreichen, müssen viele verschiedene Maßnahmen umgesetzt werden, die Verarbeitung, Handel und Gastronomie/Hotellerie betreffen. Im Rahmen der 2019 von der Bundesregierung beschlossenen Nationalen Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung wurden zahlreiche Maßnahmenpakete entwickelt und Dialogforen durchgeführt. Am 22.04.2021 wurde zwischen dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und Verbänden der Gastronomie und der Hotellerie die „Zielvereinbarung zur Reduzierung von Lebensmittelabfällen in der Außer-Haus-Verpflegung“ unterzeichnet, die das Ziel einer Halbierung der Lebensmittelabfälle für den Sektor Außer-Haus-Verpflegung bis 2030 beinhaltet [32]. Am 27.06.2023 unterzeichneten 14 Unternehmen des Groß- und Einzelhandels den „Pakt gegen Lebensmittelverschwendung“ mit dem Ziel einer Halbierung der Lebensmittelabfälle im Bereich des Handels bis 2030 [33]. Für den Bereich der Verarbeitung, in dem ca. 50 % der gewerblichen Lebensmittelabfälle anfallen [34], liegt als Ergebnis der Dialogforen bislang keine unterzeichnete Vereinbarung vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass auch hier das Ziel der Halbierung bis 2030 festgeschrieben wird.

Beim Landschafts- und Straßenpflagematerial hängt die Steigerung der Biogaspotenzialmengen weniger mit einer Steigerung des theoretischen Potenzials zusammen, denn die Pflegeflächen mit ihrem spezifischen Aufwuchs sind ja vorhanden, sondern eher mit einer Steigerung des technisch nutzbaren Anteils des Aufwuchses. Hier hängt einerseits viel von politischen Vorgaben ab, wie man am Beispiel der Gesetzgebung infolge des Volksbegehrens „Rette die Bienen“ sehen konnte, und andererseits von der Wirtschaftlichkeit der Nutzung. Letztere wird auch wieder von politischen Vorgaben, z. B. Landschaftspflegebonus im EEG 2009, beeinflusst. Der Regelverwertungsweg wird voraussichtlich jedoch die Kompostierung bleiben, es sei denn, die Vergärungsanlagen könnten die Annahme kostengünstiger anbieten oder gar Zuzahlungen leisten.

Die im Folgenden beschriebenen einzelnen Parameter sowie die Höhe der Variation der Parameter in den drei Szenarien wurden von der Witzenhausen-Institut GmbH zunächst als Entwurf der Abteilung Abfallwirtschaft des LfU vorgestellt und nach einem fachlichen Austausch von der Witzenhausen-Institut GmbH endgültig festgelegt.

6.2.3.1 Steigerung der Anschlussquote an die Biotonne

Um eine Steigerung der Anschlussquote an die Biotonne als Parameter in die Szenarienberechnung einfließen lassen zu können, wurde zunächst die Anschlussquote zum Ist-Stand 2021 definiert, die nicht nur die öRE mit Holsystem, also die tatsächlich eine Biotonne anbieten, sondern auch die öRE mit Bringsystem einbezieht. Die Ist-Anschlussquote liegt in den Abfallbilanzen für die öRE ohne jegliche Biogutsammlung genauso wie für die öRE mit Bringsystemen bei Null. Diese Gleichsetzung entspricht nicht der Realität der Aktivität in Bezug auf die Getrennterfassung von Biogut. ÖRE mit Bringsystemen bieten die Entsorgung von Biogut derzeit beispielsweise auf Wertstoffhöfen oder Wertstoffinseln, wo

auch Altglas- oder Altkleidercontainer stehen, an. Somit gewährleisten sie bereits einen Anschluss ihrer Bürger an eine Biogutentsorgungsmöglichkeit, die jedoch nicht vergleichbar mit einer Biotonne ist, die man direkt einem Haushalt bzw. dessen Einwohnern zuordnen kann.

Für die Festlegung von Ist-Anschlussquoten der örE mit Bringsystemen wurde angenommen, dass 75 kg Biogut, die über diese Systeme gesammelt werden, der jährlichen Sammelmenge eines Einwohners entspricht, da die durchschnittliche Sammelmenge von Biogut bei örE mit Holsystemen pro angeschlossenen Einwohner in Bayern 75 kg/a beträgt. So konnte für jeden örE mit Holsystem eine (fiktive) Anzahl an angeschlossenen Einwohnern und damit eine Anschlussquote berechnet werden.

Für ganz Bayern betrug die Anschlussquote an die Biotonne im Bezugsjahr 2021 nach dieser Berechnung 83 %. Für die drei Szenarien wurden Steigerungen auf 85 % (Szenario „Niedrig“), auf 90 % (Szenario „Mittel“) und auf 95 % (Szenario „Hoch“) festgelegt (Tabelle 6-13). Um diese Steigerungen der Anschlussquote, die ja einen Durchschnittswert für ganz Bayern darstellt, aus den Einzelwerten aller Kommunen zu generieren, wurde in einem iterativen Prozess ein Steigerungsmodell entwickelt, das jeder Kommune basierend auf ihrem Bioguterfassungssystem und ihrer Ist-Anschlussquote für jedes Szenario eine Anschlussquote zuweist (Tabelle 6-13).

Tabelle 6-13: Steigerung der Anschlussquote (ASQ) an die Biotonne bis 2030 in drei Szenarien

Ist-Stand 2021*: 83 %	Szenario Niedrig	Szenario Mittel	Szenario Hoch
Anschlussquote (ASQ) an die Biotonne 2030	85 %	90 %	95 %
Steigerung	Alle örE mit Holsystem und ASQ <50 % sowie alle örE ohne Biogut-Sammelsystem erreichen eine ASQ von 50 %	Alle örE mit ASQ <60 % erreichen eine ASQ von 60 %	Alle örE mit ASQ >90 % erreichen eine ASQ von 100 %, alle anderen eine ASQ von 65 %

* Aus Daten des LfU [20] für die örE mit Holsystem sowie Berechnung einer Anschlussquote für die örE mit Bringsystem über die Annahme, dass 75 kg Biogut der jährlichen Sammelmenge eines Einwohners entspricht (durchschnittliche Sammelmenge Biogut pro angeschlossenen Einwohner in Bayern: 75 kg/a)

6.2.3.2 Reduzierung der Organik im Hausmüll

Für die Reduzierung der Organik im Hausmüll wurde das Ziel einer Halbierung bis 2030, wie es von der Umweltministerkonferenz im November 2020 beschlossen wurde, (vgl. Kapitel 6.2.2.1) als maximaler Wert im Szenario „Hoch“ angenommen und die Werte in den Szenarien „Mittel“ bzw. „Niedrig“ dementsprechend auf 30 % bzw. 10 % festgesetzt (Tabelle 6-14). Die errechneten reduzierten Mengen an Organik im Hausmüll wurden zu den jeweiligen Biogutmengen addiert.

Tabelle 6-14: Reduzierung der Organik im Hausmüll (OHM) bis 2030 in drei Szenarien

	Szenario Niedrig	Szenario Mittel	Szenario Hoch
Angestrebte Reduktion der Organik im Hausmüll bis 2030 im Vergleich zu 2021 (in %)	10 %	30 %	50 %
Reduzierung	Addition der im Hausmüll reduzierten Mengen zum Biogut		

6.2.3.3 Reduzierung von Lebensmittelabfällen aus Privathaushalten

Wie bei der Reduzierung der Organik im Hausmüll wurde auch bei der Reduzierung von Lebensmittelabfällen aus Privathaushalten das Ziel einer Halbierung (vgl. Kapitel 6.2.2.2), bezogen auf den vermeidbaren Anteil, als Maximalwert verwendet. Diesmal jedoch im Szenario „Niedrig“, da, wie bereits beschrieben, das gewollte Ziel einer Reduzierung von Lebensmittelabfällen zu einer Abnahme des Biogas-Potenzials führt. Die Werte im „Mittel“ bzw. „Hoch“ Szenario wurden dann dementsprechend auf 30 % bzw. 10 % festgesetzt (Tabelle 6-15). Gemäß [34] beträgt der Anteil der Lebensmittelabfälle aus Privathaushalten, der vermeidbar ist, rund 44 %. Dies betrifft sowohl die Lebensmittelabfälle im Hausmüll, die im Mittel 31,7 Gewichts-% des gesamten Hausmülls ausmachen, als auch die Lebensmittelabfälle in der Biotonne, die im Mittel 37,8 Gewichts-% des gesamten Bioguts ausmachen [34].

Es ist davon auszugehen, dass die angestrebte Vermeidung von Lebensmittelabfällen aus Privathaushalten eher im Hausmüll (höhere Anteile verpackter Lebensmittel) als im Biogut (höhere Anteile an Küchenabfällen) stattfinden wird. Daher wurde in diesem Projekt der Ansatz gewählt, dass zunächst die Gesamtmenge der zu vermeidenden Lebensmittelabfälle aus Hausmüll und Biogut über den vermeidbaren Anteil und die jeweiligen Anteile an Lebensmittelabfällen bestimmt wurde. Diese Gesamtmenge wurde im zweiten Schritt dann so aufgeteilt, dass mind. 70 % davon vom Hausmüll abgezogen wurden und der Rest vom Biogut. In Kommunen, die nur sehr wenig oder gar kein Biogut erfassen, konnte dann der Anteil der Reduzierung von Lebensmittelabfällen im Hausmüll bis zu 100 % betragen.

Tabelle 6-15: Reduzierung von Lebensmittelabfällen aus Privathaushalten bis 2030 in drei Szenarien

	Szenario Niedrig	Szenario Mittel	Szenario Hoch
Reduzierung von Lebensmittelabfällen (LMA) aus Privathaushalten bis 2030 im Vergleich zu 2021 (in % des vermeidbaren Anteils*)	50 %	30 %	10 %
Reduzierung	Bestimmung der insgesamt zu vermeidenden LMA im Hausmüll und Biogut. Abzug von mind. 70 % der zu vermeidenden LMA vom Hausmüll (bis zu 100 %, je nach Anteil an der Gesamtmenge der zu vermeidenden LMA)		

*Vermeidbarer Anteil: 44 % [34]

6.2.3.4 Steigerung der getrennten Erfassung von krautigem Grüngut

Da für die Getrennterfassung von krautigem Grüngut derzeit keine politischen Zielvorgaben existieren, weder auf Bundes- noch auf Landesebene, ist hier mit geringeren Anstrengungen in Bezug auf eine Mengensteigerung zu rechnen als im Fall des Bioguts. Daher wurde für das niedrige Szenario keine Mengensteigerung und für das mittlere bzw. hohe Szenario eine Steigerung von lediglich 10 % bzw. 20 % angenommen.

Tabelle 6-16: Steigerung der getrennten Erfassung von krautigem Grüngut bis 2030 in drei Szenarien

	Szenario Niedrig	Szenario Mittel	Szenario Hoch
Steigerung der Erfassungsmengen von krautigem Grüngut bis 2030 im Vergleich zu 2021 (in %)	0 %	10 %	20 %
Steigerung	Gleiche Steigerungsraten bei allen öRE		

6.2.3.5 Reduzierung von gewerblichen Lebensmittelabfällen

Wie bei der Reduzierung von Lebensmittelabfällen aus Privathaushalten wurde auch bei der Reduzierung von gewerblichen Lebensmittelabfällen die Zielvereinbarungen einer Halbierung (vgl. Kapitel 6.2.3) bezogen auf den vermeidbaren Anteil als Maximalwert im Szenario „Niedrig“ verwendet. Die Werte im „Mittel“ bzw. „Hoch“-Szenario wurden dann dementsprechend auf 30 % bzw. 10 % festgesetzt (Tabelle 6-17). Gemäß [34] beträgt der Anteil der gewerblichen Lebensmittelabfälle, der vermeidbar ist, rund 65 %.

Tabelle 6-17: Reduzierung von gewerblichen Lebensmittelabfällen bis 2030 in drei Szenarien

	Szenario Niedrig	Szenario Mittel	Szenario Hoch
Reduzierung von gewerblichen Lebensmittelabfällen bis 2030 im Vergleich zu 2021 (in % des vermeidbaren Anteils*)	50 %	30 %	10 %
Reduzierung	Gleiche Reduzierungsraten bei allen öRE		

*Vermeidbarer Anteil: 65 % [34]

6.2.3.6 Entwicklung des technisch nutzbaren Potenzials von vergärbarem Landschafts- und Straßenpflegematerial

Im mittleren Szenario verbleibt der technisch nutzbare Anteil des Landschafts- und Straßenpflegematerials wie beim Ist-Stand bei 30 % (Tabelle 6-18). Im niedrigen Szenario wird davon ausgegangen, dass trotz einer vermehrten Bergung des Straßenpflegematerials infolge gesetzlicher Vorgaben (siehe Kapitel 6.2.2.4) die Nutzung als Biogassubstrat technisch und wirtschaftlich schwieriger als derzeit eingeschätzt wird und die Verwertung daher überwiegend stofflich über die Kompostierung erfolgt. Der technisch nutzbare Anteil sinkt daher in diesem Szenario auf 20 %. Im

hohen Szenario wird dagegen angenommen, dass entweder technische Innovationen oder wirtschaftliche bzw. politische Rahmenbedingungen (z. B. Förderungen) sich so entwickeln, dass der technisch nutzbare Anteil des vergärbaren Landschafts- und Straßenpflegematerials auf 40 % ansteigt.

Tabelle 6-18: Entwicklung des technisch nutzbaren Potenzials von vergärbarem Landschafts- & Straßenpflegematerial bis 2030 in drei Szenarien

Ist-Stand 2021*: 30 %	Szenario Niedrig	Szenario Mittel	Szenario Hoch
Anteil des krautigen Landschafts- & Straßenpflegematerials, das 2030 als technisch nutzbares Biogaspotenzial angesehen wird (in %)	20 %	30 %	40 %
Entwicklung	Gleiche Anteile in allen Kommunen		

*Nach derzeitigen Rahmenbedingungen können ca. 30 % des in Bayern auf entsprechenden Flächen anfallenden krautigen Landschaftspflegematerials als technisch nutzbares Potenzial zur Biogaserzeugung angesehen werden.

6.2.4 Berechnung des Biogaspotenzials aus der Abfallwirtschaft in den drei Szenarien

Auf Basis der für jedes Szenario festgelegten Variation der sechs in Kapitel 6.2.3.1 bis 6.2.3.6 beschriebenen Parameter wurden zunächst die Mengen jedes Stoffstroms und anschließend das technische Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft für jede bayerische Kommune in jedem der drei Szenarien berechnet. Hierbei wurden die gleichen spezifischen Biogasausbeuten und Methangehalte aus Tabelle 6-11 verwendet wie für die Berechnung des Ist-Stands.

Eine Besonderheit gab es bei der Berechnung der Potenziale des Bioguts und der Organik im Hausmüll, da die Parameter „Reduzierung der Organik im Hausmüll“ (Kapitel 6.2.3.2) und „Reduzierung von Lebensmittelabfällen aus Privathaushalten“ (Kapitel 6.2.3.3) beide Stoffströme beeinflussten. Während der Letztgenannte bei beiden Stoffströmen in allen Szenarien zu einer Potenzialabnahme im Vergleich zum Ist-Stand führte, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß, so führte der Erstgenannte beim Biogut zu einer Potenzialzunahme und bei der Organik im Hausmüll gleichzeitig zu einer Potenzialabnahme.

Für die Berechnung des Potenzials aus Biogut mussten demnach sowohl die beiden oben genannten Parameter als auch der Parameter „Steigerung der Anschlussquote an die Biotonne“ (Kapitel 6.2.3.1) miteinander verrechnet werden. Dies gelang – nach Prüfung verschiedener Verrechnungsmethoden – am plausibelsten durch einfache Addition der für jeden Parameter separat berechneten Steigerung bzw. Reduzierung der Biogutmenge zu einer Gesamtsumme der Biogutmenge in jedem Szenario. Aus dieser wurde anschließend das Methanpotenzial errechnet. Ähnlich wurde bei der Berechnung des Potenzials aus der Organik im Hausmüll vorgegangen, wo die für jeden der beiden oben genannten Parameter separat berechneten Reduzierungen miteinander zu einer Gesamtsumme verrechnet wurden.

6.3 Genutzte Biogaspotenziale

6.3.1 Datengrundlage

6.3.1.1 Vor Ort verstromende Biogasanlagen (EEG-basiert)

Die Darstellung des derzeit genutzten Biogaspotenzials in Bayern erfolgte auf Basis der Stamm- und Bewegungsdaten, die von den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) an die Bundesnetzagentur (BNetzA) übermittelt werden (Stand 2021), ergänzt durch das Marktstammdatenregister (MaStR) der BNetzA und die vom LfU geführte Datenbank. Soweit möglich, erfolgte eine Zuordnung nach Art des Bioenergieträgers durch die Auswertung der Vergütungsschlüssel aus den Bewegungsdaten. Die jährlich erzeugte Energiemenge aus Biogas wurde kumuliert für jeden amtlichen Gemeindeschlüssel (AGS) Bayerns ermittelt und in eine Excel-Datei überführt.

Wie bereits erwähnt, wurde als Übergabeparameter die Methanmenge in $[m^3/a]$ gewählt. Auch wenn sich die vor Ort verstromenden BHKW durchaus in ihren Wirkungsgraden unterscheiden, und aus dem MaStR die installierten Leistungen und damit auch theoretisch die davon abhängenden Wirkungsgrade angeben lassen [35], wurde hierauf verzichtet. Es wurde im Projekt ein durchschnittlicher, bayernweiter elektrischer Wirkungsgrad von 39,1% für diese Anlagen angenommen. Es ergibt sich daher bei einem Unteren Heizwert (H_u) des Methans von $10 \text{ kWh}/m^3$ ein Bedarf von $2,56 \text{ m}^3 \text{ Methan}/\text{kWh}_{el}$. Da in den Bewegungsdaten auch die jährlich produzierte Strommenge abgelegt wird kann somit die tatsächlich benötigte Methanmenge abgeleitet werden. Mit einer Ableitung über die installierte Leistung wäre dies bei der zunehmend flexibilisierten Betriebsweise der Anlagen nicht möglich.

6.3.1.2 Biomethan

Es wurden an dieser Stelle alle nach dem EEG vergüteten Biogas-BHKW, nicht aber die Biomethan-BHKW berücksichtigt, da das verstromte Biomethan bilanziell auch außerhalb Bayerns produziert worden sein könnte und es hierbei keinen direkten Zusammenhang zu Bayerischen Ackerflächen oder Abfallmengen geben muss. Um den zusätzlich erzeugten Biomethanmengen und möglichen daraus resultierenden, lokale Auswirkungen dennoch Rechnung zu tragen, wurden stattdessen die Biogasaufbereitungsanlagen zur Bilanzierung des derzeit genutzten Biogaspotenzials miteinbezogen. Zwar kann das eingespeiste Biomethan bilanziell auch außerhalb Bayerns genutzt werden, die Produktion der entsprechenden Biogasmengen erfolgte jedoch regional, wodurch ein direkter Zusammenhang mit lokalen Ackerflächen oder Abfallmengen wesentlich wahrscheinlicher ist.

6.3.1.3 Datenlage allgemein

Da eine korrekte Zuordnung der Anlagendaten aus den genutzten Datensätzen der ÜNB und BNetzA nicht immer eindeutig zum Energieträger bzw. auch einem Gemeindeschlüssel zugeordnet werden kann und auch einige Unstimmigkeiten bei Biomethananlagen sowie Abfall vergärenden Anlagen bestand, erfolgte ein intensiver Abgleich mit Daten zu Biomethananlagen des IEE, Abfallanlagendaten des WI sowie Daten des LfU. Hierdurch konnten noch einige Unstimmigkeiten beseitigt werden, so dass nun ein Datensatz mit deutlich verbesserter Qualität vorliegt, mit dem die in Bayern insgesamt genutzte Biogasmenge sehr gut erfasst wird und die eine hohe Passgenauigkeit der Zuordnung bis auf die Gemeindeebene aufweist. Trotzdem ist es nicht vermeidbar, dass sich die konkrete Situation in einer Gemeinde von den ermittelten Daten unterscheidet, weil Herkunft der

Biomasse und Nutzung des Biogases doch nicht wie in dieser Vorgehensweise angenommen einer einzelnen Gemeinde zugeordnet sind.

6.3.2 Überlegungen zur Bestandsentwicklung

Die Bestandsentwicklung der Biogasanlagen in den kommenden Jahren wird insbesondere durch die Restlaufzeiten der aktuellen EEG-Vergütung abgeschätzt. Auch die vorzeitigen Stilllegungen von Biogasanlagen spielen in diesem Zusammenhang eine Rolle. Zu den weiteren Parametern, die einen Einfluss auf die Entwicklung des Biogasanlagenbestandes nehmen könnten, zählen beispielsweise die Ausgestaltung der Ausschreibungsverfahren, technische Regelwerke, ein Wechsel der Anlage von Strom- zu Gasproduktion sowie die Preisentwicklung für bestimmte Substrate. Diese möglichen Einflussfaktoren wurden im Rahmen des ersten Stakeholder-Workshops erläutert und es wurde der Ansatz verfolgt, die einzelnen Parameter zu quantifizieren, um mit Blick auf die in Kapitel 4 beschriebenen Szenarien, „Mittel“, „Hoch“ und „Niedrig“, das jeweilige Ausmaß abbilden zu können.

6.3.2.1 Ende der EEG-Vergütung

Zunächst lag der Fokus der Analysen auf dem Ende der 20-jährigen EEG-Vergütung. Hierzu wurde für den Bestand der Bayerischen Biogasanlagen (Bezugsjahr 2021) eine sogenannte Sterbekurve für die darauffolgenden fünf Jahre erstellt. Es wurden im ersten Schritt keine Beteiligungen an Ausschreibungen und keine vorzeitigen Stilllegungen berücksichtigt und das Auslaufen der EEG-Förderung nach 20 Jahren wurde einem Netzabgang bzw. einer Stilllegung der Anlage gleichgesetzt. Abbildung 6-12 zeigt, wie sich der Anlagenbestand und die installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen und Biogasaufbereitungsanlagen in Bayern unter diesen Bedingungen, also der ausschließlichen Berücksichtigung des Auslaufens der EEG-Förderung nach 20 Jahren, verändern würde. Der Darstellung liegt der sogenannte „weite Anlagenbegriff“ gemäß [36] und [37] zugrunde, sodass mehrere BHKW an einem Standort, unabhängig vom Datum der Inbetriebnahme, als eine Anlage betrachtet werden.

Gemäß den Stamm- und Bewegungsdaten der Übertragungsnetzbetreiber [38, 39] befanden sich in Bayern im Jahr 2021 rund 2.500 Biogasanlagen in Betrieb. Zuzüglich der Biogasaufbereitungsanlagen ergibt sich, wie in Abbildung 6-12 zu erkennen, eine Anzahl von etwa 2.530 Anlagen mit einer elektrischen Leistung von rund 1,54 GW. Diese Anlagen erzeugten eine Jahresarbeit von 6,97 TWh_{el}, was einer Methanmenge von rund 1,78 Mrd. m³ entspricht. Ein Abschalten der Biogasanlagen nach dem Auslaufen der EEG-Förderung würde bis zum Jahr 2024 einen vergleichsweise moderaten und ab dem Jahr 2025 einen zunehmend größeren Einfluss auf den Bestand aufweisen, sodass ohne Berücksichtigung einer Beteiligung an den Ausschreibungen oder weiterer Parameter im Jahr 2026 noch gut 1.900 Anlagen (BGA + BGAA) mit einer Leistung von 1,17 GW_{el} in Betrieb sein würden. Im Durchschnitt der Jahre 2022 bis 2030 erreichen rechnerisch 8 % der Bayerischen Biogasanlagen das Ende ihrer 20-jährigen Förderperiode. Bezogen auf die installierte elektrische Leistung und die Jahresarbeit beträgt der Anteil jeweils 9,5 %.

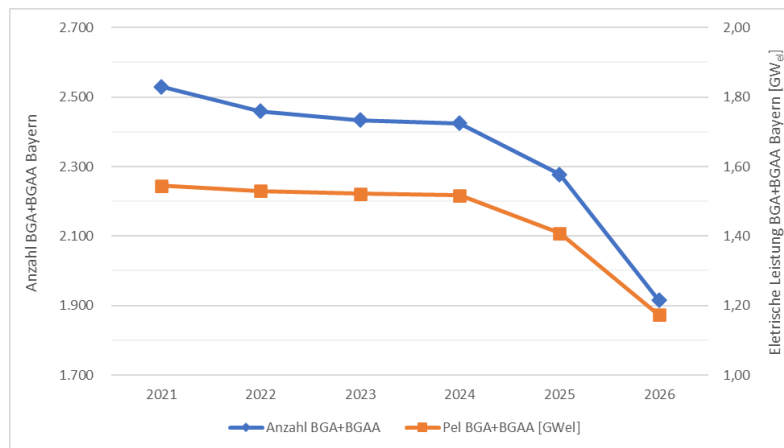


Abbildung 6-12: Auswirkungen des Endes der 20-jährigen EEG-Förderung auf Bestand und Leistung der Bayerischen BGA und BGAA ohne Berücksichtigung eines möglichen Weiterbetriebs für den Zeitraum 2022 – 2026 [Eigene Abbildung auf Basis von [38, 39]]

Da die Auswertung der Vergütungsschlüssel aus den Bewegungsdaten keine vollumfängliche Zuordnung aller Bioenergieträger ermöglicht, verbleiben rund 300 Biomasseanlagen mit unklarem Anlagentyp. Diese ließen sich auch mit Hilfe des LfU-eigenen Datensatzes nicht eindeutig kategorisieren. Bezogen auf die zugeordneten Anlagen beträgt der Anteil der Biogasanlagen knapp 90 %. Unter der Annahme, dass sich unter den nicht zugeordneten Anlagen ebenfalls etwa 90 % Biogasanlagen befinden, könnte die gesamte Anzahl an Biogasanlagen bis zu 10 % höher ausfallen als in Abbildung 6-12 dargestellt.

6.3.2.2 Vorzeitige Anlagenstilllegungen

Basierend auf den Stamm- und Bewegungsdaten der Übertragungsnetzbetreiber [38, 39] wurden in Bayern von 2012 bis 2021 jährlich zwischen 8 und 60 Biogasanlagen vor Ende ihrer 20-jährigen EEG-Förderung vom Netz genommen. Im Durchschnitt waren es 33 Anlagen pro Jahr, was etwa 1,3 % des Anlagenbestandes entspricht. Unter der Annahme, dass sich der Anteil der vorzeitigen Stilllegungen in den folgenden Jahren weiterhin ähnlich gestaltet, würde der in Abbildung 6-12 dargestellte Anlagenbestand und die installierte elektrische Leistung wie in Abbildung 6-13 zu sehen, entsprechend geringer ausfallen.

Die Gründe für diese vorzeitigen Stilllegungen sind laut dem Fachverband Biogas unterschiedlich:

- fehlende Perspektive des Betriebes
- Unsicherheit über politische Entscheidungen
- steigende technische Anforderungen und Auflagen und damit einhergehender zusätzlicher Investitionsbedarf
- mangelnde Wertschätzung und Akzeptanz in der Bevölkerung.

In Abbildung 6-13 ist dieser Effekt zusätzlich zur Außerbetriebnahme nach Ablauf der EEG-Förderung dargestellt.

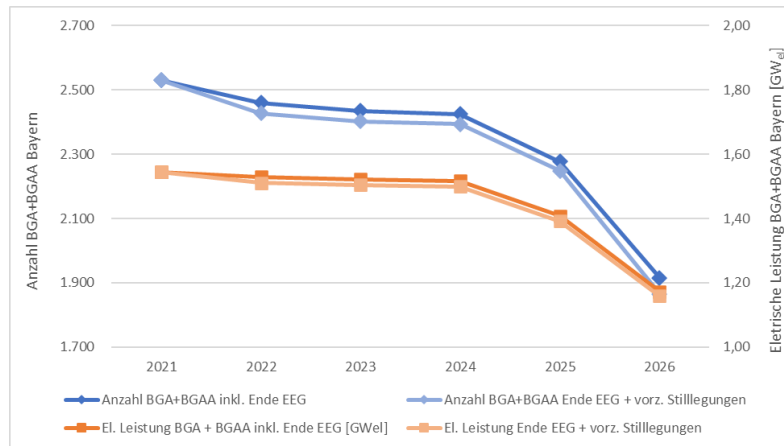


Abbildung 6-13: Auswirkungen des Endes der 20-jährigen EEG-Förderung und vorzeitiger Stilllegungen auf Bestand und Leistung der Bayerischen BGA und BGAA ohne Berücksichtigung eines möglichen Weiterbetriebs für den Zeitraum 2022 – 2026 [Eigene Abbildung auf Basis von [38, 39]]

6.3.3 Szenarienentwicklung

Da die derzeitige Entwicklung der Biogastechnologie von vielen Unsicherheiten geprägt ist, sollten im Projekt neben dem Ist-Stand des Jahres 2021 (bedingt durch die Datenverfügbarkeit) mittels dreier Szenarien die möglichen Entwicklungen aufgezeigt werden (mittel, hoch, niedrig. Wie auch bei der Betrachtung der Methanpotenziale aus Land- und Abfallwirtschaft, hat eine Vielzahl von Faktoren Einfluss auf die mögliche Entwicklung.

Neben dem regulären Ende der 20-jährigen EEG-Förderperiode und den vorzeitigen Außerbetriebnahmen können weitere Faktoren einen Einfluss auf die Anzahl, die installierte elektrische Leistung oder die Stromproduktion der Biogasanlagen nehmen. Hierzu zählen das Volumen und der Höchstgebotswert der Ausschreibungen, die endogene Mengensteuerung und die Südquote, die Entwicklung der Substratpreise, aber beispielsweise auch technische Regelwerke. Um basierend auf diesen Einflussgrößen die zukünftige Entwicklung des genutzten Biogaspotenzials abschätzen zu können, müssten die Auswirkungen aller relevanten Parameter quantifiziert und miteinander kombiniert werden. Ein Ansatz, um sich dieser Aufgabe zu nähern, wurde seitens des Fraunhofer IEE im Rahmen des ersten Stakeholder-Workshops am 31. März 2023 gezeigt. Die in Abbildung 6-14 zu sehende Darstellung beinhaltet für alle genannten Parameter in Kombination mit den drei zuvor erläuterten Szenarien jeweils eine mögliche prozentuale Veränderung, bezogen auf den Ist-Zustand. Dies sollte als Diskussionsgrundlage dienen.

Parameter	Szenario Mittel	Szenario Hoch	Szenario Niedrig
Ende der EEG-Förderung	Abnahme der Anzahl nach EEG 100%	Umstieg auf Biomethanproduktion, Stromproduktion zu Marktkonditionen ±5%	Umrüstung zu Biomethan nicht möglich, Marktkonditionen nicht auskömmlich ± 0 %
Ausschreibungsvolumen	Volumen 600-> 300 MW _{el} /a (2028) + 5 %	Südquote + 10 %	...? ± 0 %

Parameter	Szenario Mittel	Szenario Hoch	Szenario Niedrig
Höchstgebot Ausschreibung	17,67 ct/kWh _{el} (Neuanlagen) 19,83 ct/kWh _{el} (Altanlagen)* ± 0 %	...? + 5 %	Endogene Mengensteuerung, aktuelle Preissteigerungen - 5 %
Technische Regelwerke	± 0%		
Vorzeitige Stilllegungen	- 1,3 %	±0%	
...			
Rot = Vorschlag Fraunhofer IEE			*BNetzA, Februar 2023

Abbildung 6-14: Diskussionsgrundlage der Einflussgrößen auf das durch BGA und BGAA genutzte Potenzial [40] für den Stakeholderworkshop

Darauf aufbauend gab es Bestrebungen, die gezeigten Prozentzahlen während des Workshops und mittels im Nachgang versendeter Fragebögen durch die Stakeholder verifizieren respektive korrigieren zu lassen. Es zeigte sich hierbei, dass es aufgrund der Komplexität der möglichen Entwicklungen unterschiedlicher Einflussfaktoren kaum möglich ist, diese einzeln zu quantifizieren und daraus anschließend jeweils eine Prozentzahl je Szenario zu ermitteln.

In einem ergänzend zum zweiten Stakeholder-Workshop geführten Expertengespräch mit einem Vertreter des Fachverband Biogas e.V. gab es zunächst erneut das Bestreben, den zukünftigen Einfluss einzelner Parameter individuell zu quantifizieren. Im Verlauf des Gesprächs wurde jedoch noch einmal deutlich, wie stark sich einzelne Faktoren auf die Ausgestaltung des genutzten Biogaspotenzials auswirken können.

So kann beispielsweise eine weitere Verschärfung der Emissionsgrenzwerte eine Biogasproduktion zu heutigen Preisen unmöglich zu machen, was eine vollständige Einstellung dieser Form der Energiewandlung zur Folge hätte.

Der zunehmende Bedarf an Systemdienstleistungen durch Biogasanlagen sowohl in der Land- und Abfallwirtschaft (Verwertung von Wirtschaftsdünger, Aufnahme von Pflanzenmaterial mit ökologischem Nutzen wie Blühpflanzen) als auch in der Energiewirtschaft (ländliche Wärmeversorgung, zumindest temporäre Substitution von Erdgas, Bereitstellung von Ausgleichsenergie z.B. im Rahmen der Südquote etc.) zeigt jedoch derzeit und in der nahen Zukunft einen deutlichen Bedarf an dieser Technologie. Auch die Untersuchungen der Partner im Kontext Land- und Abfallwirtschaft zeigen eine Zunahme der Verfügbarkeit von vergärbare Biomasse und damit ein höheres Methanpotenzial, so dass aus dieser Perspektive die Nutzung von Biogas eher steigen könnte.

Mit Zustimmung der beteiligten Stakeholder wurde festgestellt, dass es kaum möglich ist, belastbare Prognosen für die zukünftige Entwicklung der unterschiedlichen Parameter zu erstellen und diese festen Werten für die Entwicklung des Anlagenbestandes zuzuordnen.

In Absprache mit den Experten erfolgte für die Berechnungen der drei Szenarien schließlich die Definition der Annahmen hinsichtlich der genutzten Biogaspotenziale in Form von Prozentwerten, die die unterschiedlichen, teils gegenläufigen Effekte zusammenfassen. Dabei wurde die konservative Annahme getroffen, dass in einem Szenario, bei dem begünstigende Effekte überwiegen (Szenario „Hoch“) die genutzte Biogasmenge im Vergleich zum Basisjahr 2021 konstant

bleibt. Die Szenarien „Mittel“ und „Niedrig“ würden also zu einer Abnahme des genutzten Methanpotenziales führen.

- Szenario „Hoch“: Änderung = 0 %
- Basisszenario „Mittel“: Änderung = -5 %
- Szenario „Niedrig“: Änderung = -15 %

Es ist hier unbedingt zu beachten, dass die Ergebnisse der Szenarien für die genutzte Methanmenge invers zu den Methanpotenzialen aus der Land- und Abfallwirtschaft sind. Dort führen begünstigende Rahmenbedingungen zu einem höheren Methanpotenzial. Bei den Szenarien zur Nutzung des Methans führen begünstigende Rahmenbedingungen zu mehr Anlagen, die dieses Methan verstromen oder anderweitig nutzen. Weiterhin ist zu beachten, dass Randbedingungen denkbar sind, die sich ganz unterschiedlich in Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Nutzung auswirken. Es ergäben sich bei dieser Betrachtung also 3³-Szenariokombinationen. Eine Summenbildung ist hier also nicht generell angebracht.

Die Daten dienen aber dazu, später im Mischpult passende Voreinstellungen zu wählen bzw. sinnvolle lokale Zielkorridore zu definieren.

7 Darstellung der wesentlichen Ergebnisse

7.1 Biogaspotenziale aus der Landwirtschaft

Im Rahmen der Ermittlung der Biogaspotenziale aus der Landwirtschaft wurden zuerst Biogasanlagenstandorte identifiziert, die hauptsächlich landwirtschaftliche Biomasse zur Energieerzeugung nutzen (Abbildung 7-1). Anlagen, die Klärschlamm oder Bioabfälle zur Energiegewinnung verwenden, wurden dabei ausgeschlossen. Es ist jedoch anzumerken, dass in einigen Fällen Bioabfälle oder Speisereste als „Co-Substrate“ in den als landwirtschaftlich eingestuften Anlagen genutzt werden könnten, insbesondere wenn diese nur einen geringen Anteil an der gesamten verarbeiteten Biomasse darstellen.

Bei der Betrachtung der Energiegewinnung ist es wesentlich, zwischen zwei Typen von Biogasanlagen zu differenzieren: solchen, die das erzeugte Biogas direkt vor Ort zur Stromerzeugung nutzen, und solchen, die das Biogas zu Biomethan aufbereiten und in das öffentliche Gasnetz einspeisen. Die identifizierten Anlagen wurden anschließend basierend auf der Art der eingesetzten Biomasse in die zwei Typen N-BGA (Einsatz einer Substratmischung aus überwiegend NawaRo) und G-BGA (Einsatz einer Substratmischung aus überwiegend Wirtschaftsdüngern) kategorisiert (Tabelle 7-1).

Tabelle 7-1: Eigenschaften der unterschiedlichen Anlagentypen zur Biogasproduktion

Energie-träger	Anlagen-typ	Regierungs-bezirk	Anzahl	Anlagengröße: Berechnete Methanproduktion je Anlage [Tsd. m ³ /a]	
				Standard-abweichung	Mittelwert
Strom	N-BGA	Obb	611	426,4	628,5
		Ndb	383		
		Opf	301		
		Ofr	204		
		Mfr	373		
		Ufr	107		
		Sch	577		
Strom	G-BGA	Obb	70	43,8	142,0
		Ndb	26		
		Opf	27		
		Ofr	27		
		Mfr	19		
		Ufr	13		
		Sch	72		
Biomethan	N-BGA	Bayern	20	2.472,6	5.601,8
Summe			2.850		

In Bayern machen Biogasanlagen, die überwiegend mit nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) betrieben werden (N-BGA), den Großteil der Anlagen aus. Mit 2.576 Standorten stellen sie etwa 90 % aller Biogasanlagenstandorte dar. Innerhalb dieser Kategorie gibt es allerdings signifikante Unterschiede in der Anlagengröße. Diese Variationen hängen hauptsächlich vom produzierten Energieträger ab: Anlagen zur Biomethanherzeugung sind in der Regel größer als jene, die direkt

Strom erzeugen. Aber auch unter den Strom erzeugenden Anlagen sind Größenunterschiede erkennbar.

Im Jahr 2021 wurden insgesamt 2.850¹⁰ Standorte in Bayern als landwirtschaftliche Biogasanlagen klassifiziert. Wie aus Abbildung 7-1 hervorgeht, sind diese Standorte nicht gleichmäßig über das Bundesland verteilt. Stattdessen gibt es regionale Schwerpunkte, insbesondere im westlichen Teil Bayerns (Schwaben, Mittelfranken), im südöstlichen Teil (Oberbayern, Niederbayern) sowie entlang der Grenze zur Tschechischen Republik (Oberpfalz, Oberfranken).

¹⁰ Es handelt sich hier um eine Zählung des LfU aus den Rückmeldungen der Netzbetreiber, bei der die Anzahl der BHKW entscheidend ist. In der Gesamtbetrachtung wird jedoch die Zählung mittels des „erweiterten Anlagenbegriffs“ vorgenommen, bei der eine Biogasanlage an einem Standort mit mehreren BHKW als eine Anlage gezählt wird. (Vergleiche Kapitel 6.3.2.1, (ca. 2.500 Anlagen))

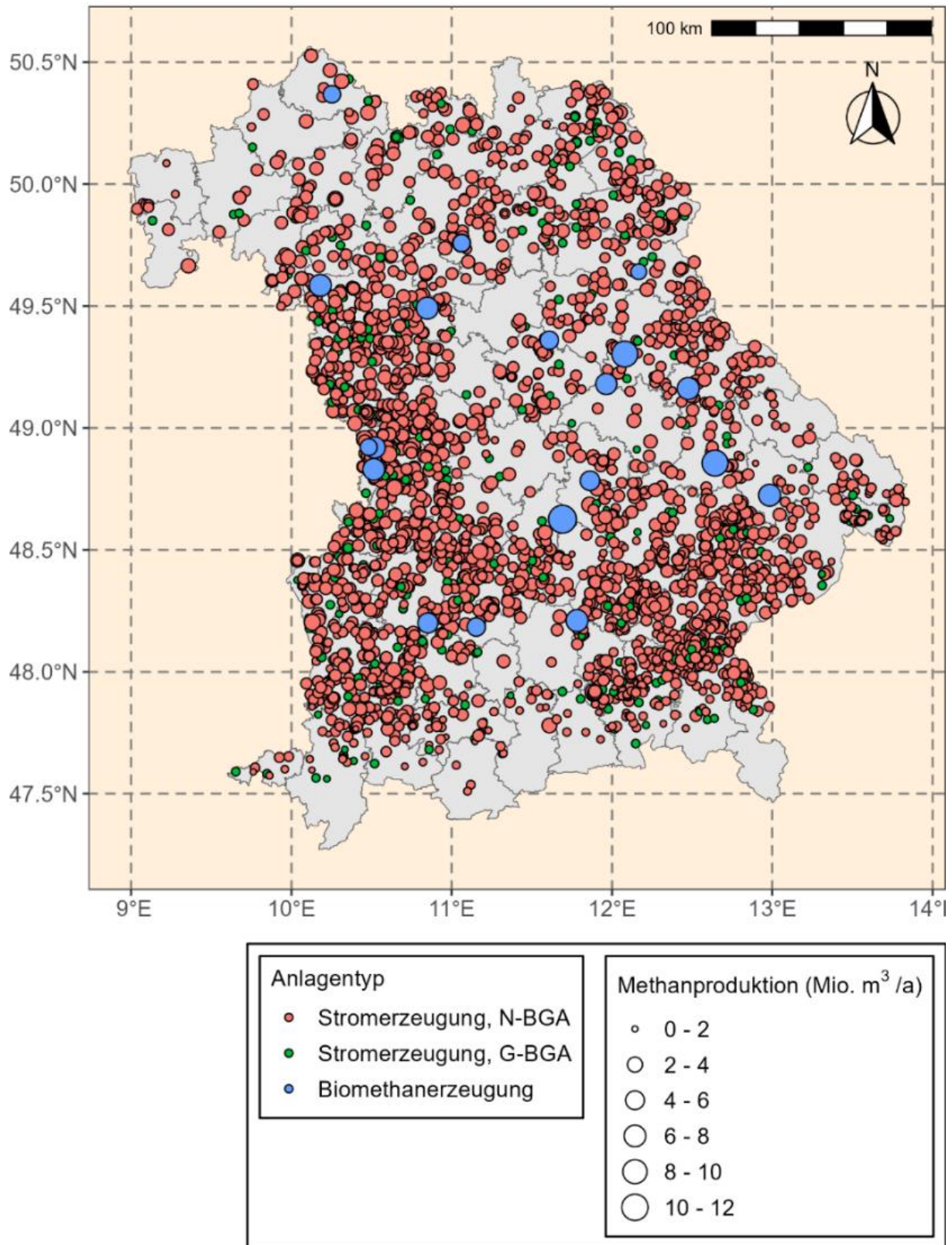


Abbildung 7-1: Standorte landwirtschaftlicher Biogasanlagen, unterteilt nach jährlichem Produktionsvolumen (Datenstand 2021) und Anlagenklasse

Der Typ G-BGA umfasst die sogenannten „Gülle-Kleinanlagen“ oder „Hofbiogasanlagen“, welche vorrangig Wirtschaftsdünger vergären. Diese Anlagen sind insbesondere mit der Einführung einer

separaten Vergütungskategorie im EEG 2012 entstanden. Aus Abbildung 7-1 lässt sich ableiten, dass G-BGA nicht in Regionen errichtet wurden, in denen zuvor keine Biogasanlagen existierten. Vielmehr befinden sie sich in Gebieten, in denen bereits N-BGA-Anlagen etabliert waren.

Die Bildung regionaler Schwerpunkte bei den Anlagenstandorten sollte in Bezug auf das noch ungenutzte, für die Biogasproduktion geeignete Biomassepotenzial betrachtet werden. Dies hilft, Regionen zu identifizieren, in denen zusätzliche Anlagen eine effiziente Substratversorgung mit kurzen Transportwegen gewährleisten können. Zudem ermöglicht die Analyse der Standortverteilung die Identifikation von Gemeinden, in denen die energetische Nutzung von Biomasse die lokal produzierte Menge übersteigt – sogenannte Importgemeinden.

Für eine Kategorisierung der Anlagen wurden die Anlagenstandorte den landwirtschaftlichen Erzeugungsgebieten zugeordnet. Außerdem wurde auf Basis von Umfragedaten unter Betreibern von Güllekleinanlagen aus dem Jahr 2023 und Daten aus EEG-Jahresendgutachten wichtige Anlagenkennzahlen, unterteilt nach Anlagentyp und Erzeugungsgebiet, erhoben.

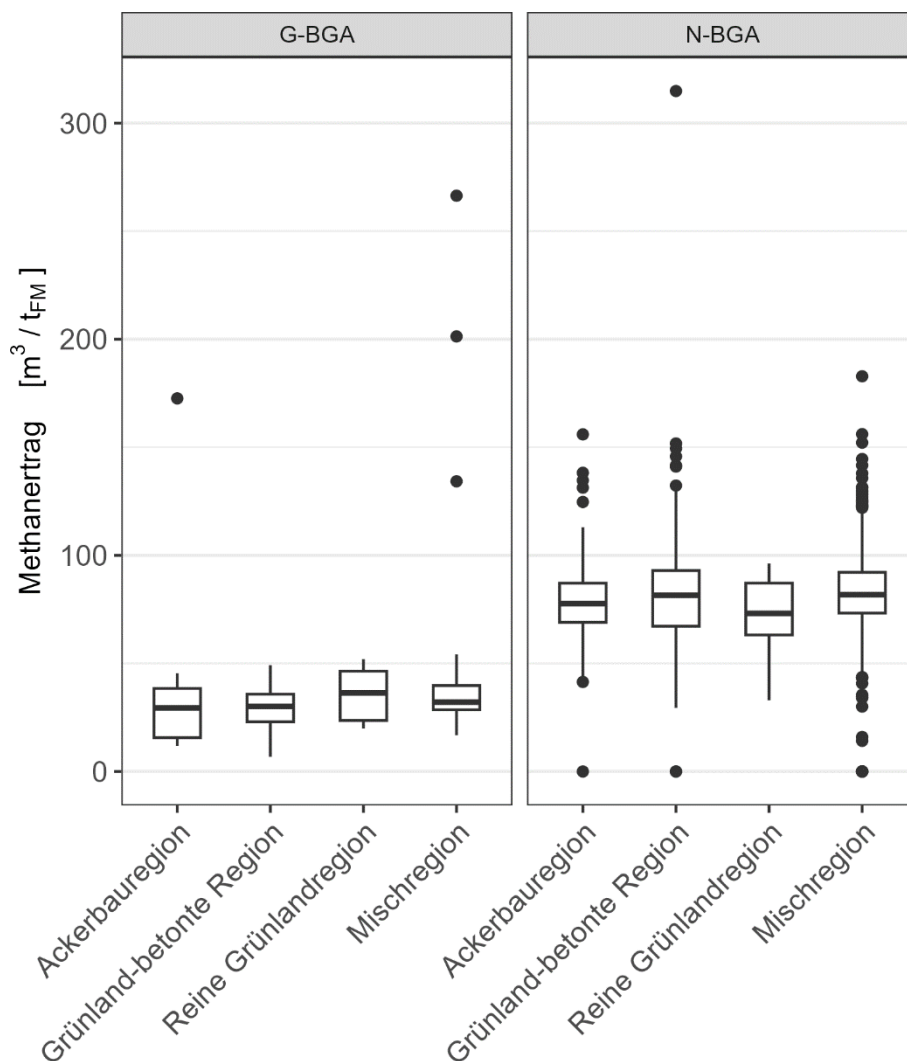


Abbildung 7-2: Methanertrag an landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Bayern nach Anlagentyp und Region in den Jahren 2019 - 2022 (N-BGA) sowie 2023 (G-BGA)

Die Analyse des Methanertrags, dargestellt in Abbildung 7-2, offenbart einen signifikanten Unterschied zwischen den Anlagentypen G-BGA und N-BGA. Der Methanertrag bei Biogasanlagen, die hauptsächlich Wirtschaftsdünger nutzen, liegt mit einem Median zwischen 28,1 und 49,9 m³/t Frischmasse (t_{FM}), während Anlagen, die vorwiegend mit Nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) betrieben werden, Werte zwischen 79,1 und 83,1 m³/t_{FM} erreichen.

Es ist festzustellen, dass der Methanertrag regional keine signifikanten Unterschiede aufweist, obwohl innerhalb der einzelnen Regionen teilweise erhebliche Spannbreiten existieren. Extremwerte, die den Methanertrag beeinflussen, sind oft auf Anlagen zurückzuführen, die zusätzlich zu landwirtschaftlichen Substraten Co-Substrate wie Speisereste, überlagerte Lebensmittel, Fettabscheide- oder Bioabfälle verwenden. Diese zeichnen sich durch höhere Methanpotenziale aus als typische landwirtschaftliche Substrate und können somit den Methanertrag künstlich erhöhen. Niedrigere Extremwerte können durch fehlerhafte Datenerfassung oder spezifische Besonderheiten einzelner Anlagen verursacht werden.

Um Verzerrungen durch Extremwerte zu vermeiden, wurde für die weiteren Berechnungen der Median des Methanertrags je Anlagentyp und Region als robusterer Schätzer für den Durchschnittswert verwendet.

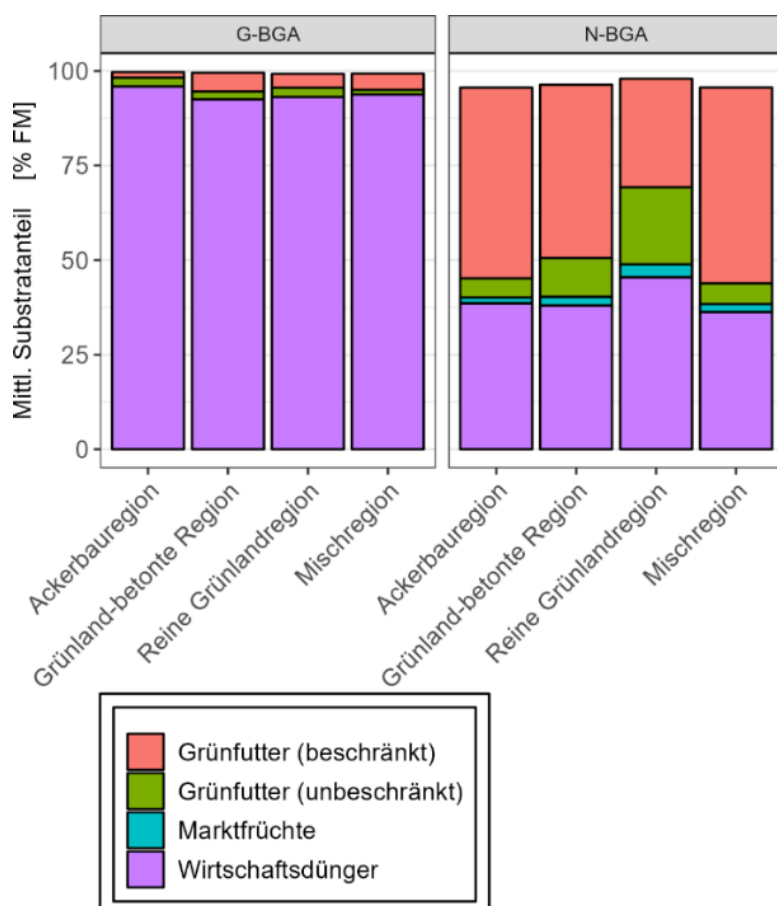


Abbildung 7-3: Substratzusammensetzung nach Biomassetypen an landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Bayern nach Anlagentyp und Region in den Jahren 2019 - 2022 (N-BGA) sowie 2023 (G-BGA)

Abbildung 7-3 visualisiert den durchschnittlichen Anteil verschiedener Biomassetypen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, differenziert nach Anlagentyp und Region. Die Datenbasis für

diese Darstellung stammt sowohl aus einer Umfrage unter Betreibern von Güllekleinanlagen (G-BGA) als auch aus der Analyse einer Vielzahl von EEG-Jahresendgutachten der Jahre 2019 bis 2022. Es ist anzumerken, dass der Anteil von nicht landwirtschaftlichen Co-Substraten in dieser Abbildung nicht berücksichtigt wurde, weshalb die Summe der verschiedenen Biomassen bei den N-BGA nicht 100 % erreicht.

Im Vergleich zum Methanertrag lassen sich bei den N-BGA deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Substrate feststellen. Besonders auffällig ist, dass in reinen Grünlandregionen der Anteil von Wirtschaftsdüngern (45 %) und unbeschränkter Grünfütter-Biomasse (20 %) höher ist als in anderen Regionen, während der Anteil von beschränkter Grünfütter-Biomasse mit 28 % deutlich niedriger liegt. In Ackerbauregionen hingegen bildet beschränkte Grünfütter-Biomasse mit Anteilen von 50 %, in Grünland-betonten Regionen mit 46 % und in Mischregionen mit 52 % jeweils die größte Fraktion im Substratinput. Marktfrüchte als zweite beschränkte Biomasse spielen in allen Regionen mit nur 1 % bis 3 % eine sehr untergeordnete Rolle als Substrat.

Innerhalb des Anlagentyps N-BGA bilden Wirtschaftsdünger mit 36 % bis 45 % massenbezogen den zweitwichtigsten Inputfaktor. Dies unterstreicht die signifikante Rolle, die Wirtschaftsdünger in diesen Anlagen spielen. Bei den G-BGA-Anlagen hingegen ist die Substratzusammensetzung über die verschiedenen Regionen hinweg ähnlich: Hier dominieren Wirtschaftsdünger mit über 93 % des Substratinputs. Diese Konstanz in der Zusammensetzung zeigt, dass G-BGA-Anlagen sich primär auf die Verwertung von Wirtschaftsdüngern konzentrieren, unabhängig von ihrer regionalen Lage.

Basierend auf den spezifischen Methanerträgen und Substratzusammensetzungen je Anlagentyp und Region wurde für jede Anlage der Verbrauch an Biomasse je Substrat hochgerechnet. Die Ergebnisse dieser Hochrechnung für Bayern sind in Tabelle 7-2 zusammengefasst. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist es wichtig zu beachten, dass die Hochrechnungen auf zwei unterschiedlichen Grundlagen basieren: Die Nutzung in Biogasanlagen wurde anhand der Energieproduktion sowie den geschätzten Methanerträgen und Substratzusammensetzungen abgeleitet. Das Potenzial hingegen wurde auf Basis der in den INVEKOS-Daten verfügbaren Angaben zur Flächennutzung und Tierhaltung sowie regionalen Parametern ermittelt, wie in Kapitel 6.1 beschrieben. Bei dieser Berechnung war es nicht erforderlich, dass der Saldo aus der Nutzung in Biogasanlagen, der Tierhaltung und der Produktion ausgeglichen ist. Entscheidend ist, dass für beschränkte Biomasse die Höhe des berechneten Biomassepotenzials die aktuelle Nutzung dieser Biomasse in Biogasanlagen nicht übersteigt. Damit ist gewährleistet, dass es zu keiner Übernutzung kommt, und dass die Produktion von Futtermitteln und Lebensmitteln Vorrang hat. Außerdem wird dem Natur- und Umweltschutz Rechnung getragen, denn die aktuelle Produktion und Nutzung der Biomasse unterliegt den geltenden naturschutz- und umweltrechtlichen Auflagen.

Tabelle 7-2: Hochgerechneter Biomasseverbrauch und Biomassepotenzial (im Ist-Stand) nach Substrattyp in Bayern.

Substrattyp, Substrat	Nutzung (Verbrauch) [Tsd. t _{FM}]	Potenzial [Tsd. t _{FM}]
Grünfütter (beschränkte Biomasse)		
Ackergras	156,7	156,7
Futtermübe	1,1	1,1
Getreide-GPS	1.116,4	1.116,4
Gemenge Leguminosen/Getreide-GPS	0,6	0,6
Luzerne	2,2	2,2
Maissilage	8.819,1	8.819,1
Raps-GPS	1,1	0,0
Sonnenblumen-GPS	1,1	1,1
Sorghum-GPS	19,3	19,3
Grünfütter (unbeschränkte Biomasse)		
Blümmischung	32,8	100,4
Gras (Dauergrünland)	1.468,2	1.148,3
Grünroggen	73,2	73,2
Klee, Klee gras	22,8	2.416,0
Riesenweizengras	0,1	31,2
Silphie	15,4	105,7
Marktfrüchte (beschränkte Biomasse)		
Getreidekorn	271,6	271,6
Kartoffeln	8,0	8,0
Leguminosenkorn	0,1	0,1
Maiskorn	205,6	205,6
Sonnenblumenkorn	0,7	0,7
Zuckerrüben	132,7	132,7
Wirtschaftsdünger		
Geflügelmist	338,5	253,5
Kaninchenmist	0,0	11,6
Pferdemist	27,2	837,3
Rindergülle	6.538,1	30.120,2
Rindermist	1.001,7	5.612,3
Schafmist	17,4	94,4
Schweinegülle	1.011,6	4.264,1
Schweinemist	28,7	254,8
Ziegenmist	0,0	17,4
Nebenprodukte		
Getreidestroh	5,7	936,5
Maisstroh	6,9	626,3
Hopfenrebenhäcksel	0,0	243,9
Rebentrester	3,1	8,9
Rübenblatt	4,4	2.510,9

Bei der Hochrechnung basierend auf den INVEKOS-Daten wurde beispielsweise kein Potenzial für Raps-GPS (Getreide-Ganzpflanzensilage) ermittelt, obwohl laut den Hochrechnungen zur Strom- bzw. Biomethanerzeugung ein Einsatz von etwa 1.100 t_{FM} berechnet wurde. Bei Gras von Dauergrünland übertrifft die aktuelle Nutzung das berechnete Potenzial, welches in den Gemeinden nach Berücksichtigung des Bedarfs in der Tierhaltung verbleibt. Hierbei ist anzumerken, dass die Ertragserfassung von Dauergrünland mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist und die angenommenen Futterrationen für Raufutterfresser von den tatsächlichen Werten in der Praxis abweichen können.

Bei Substraten wie Riesenweizengras, Kaninchenmist, Ziegenmist und Hopfenrebenhäcksel ist bekannt, dass sie in der Praxis in Biogasanlagen eingesetzt werden. In der Stichprobe der Anlagen, die für die Abschätzung der Substratzusammensetzung herangezogen wurde, kamen diese jedoch nur in sehr geringen Mengen vor oder waren gar nicht im Substratmix enthalten. Bei Substraten wie Blühmischung oder Silphie, die außerhalb der Biogasnutzung keine alternative landwirtschaftliche Verwendung finden, könnte entweder die aktuelle Nutzung in Biogasanlagen unterschätzt oder das Potenzial über die Hektarerträge überschätzt worden sein. Die zur Berechnung herangezogenen Hektarerträge basierten auf tabellierten Richtwerten und nicht auf regional-spezifischen Messwerten.

Besonders auffällig ist der Fall von Geflügelmist, der alle Arten von Geflügel und Festmist umfasst. Dieser stellt den einzigen Wirtschaftsdünger dar, dessen Nutzung das vorhandene Potenzial deutlich übersteigt. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass Geflügelmist auch aus anderen Regionen Deutschlands oder der EU bezogen wird, da dieser Wirtschaftsdünger aufgrund seines relativ hohen frischmassebezogenen Methanpotenzials eine hohe Transportwürdigkeit besitzt. Wie im Methodenteil erläutert, basiert die Berechnung der Biomassenutzung in der Tierhaltung und in den Biogasanlagen auf zahlreichen Annahmen, darunter auch Schätzungen zu typischen Substratmischungen. Sonderfälle wie beispielsweise die Nutzung von Hopfenrebenhäcksel in einer Biomethan-Einspeiseanlage im Landkreis Pfaffenhofen (Bioerdgas Hallertau GmbH) lassen sich dadurch folglich nicht abbilden.

7.1.1 Ergebnisse der Berechnungen auf Landesebene

Für das Jahr 2021 wurde für alle identifizierten landwirtschaftlichen Biogasanlagen ein gesamtes Methanproduktionsvolumen von 1.712,5 Mio. m³ ermittelt. Diese Berechnung basiert auf der in Kapitel 6.1.2.2 beschriebenen Methodik und berücksichtigt die erzeugten Strommengen sowie die genehmigten Einspeiseleistungen. In dieser Schätzung sind bereits die Verluste bei der Umwandlung, wie Eigenstrombedarf und der elektrische Wirkungsgrad der Blockheizkraftwerke (BHKW), einbezogen.

Die Rückrechnung des Verbrauchs einzelner Substrate unter Verwendung der Parameter zum durchschnittlichen Methanertrag und zum mittleren Anteil verschiedener Substrate (siehe Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3) sowie der substratspezifischen Methanpotenziale [9] führt zu einem berechneten produzierten Methanvolumen von 1.689 Mio. m³ brutto. Die Differenz zwischen dieser Berechnung und dem tatsächlich erzeugten Methanvolumen beträgt somit nur 23,5 Mio. m³ oder etwa 1,4 %. Angesichts der Unsicherheiten, die durch zahlreiche Umrechnungsschritte und eine teilweise lückenhafte Datenbasis entstehen, bestätigt diese geringe Abweichung die Plausibilität des angewendeten Ansatzes zur Rückrechnung der in Biogasanlagen verbrauchten Substratmassen.

Auf der Basis der Daten auf Gemeindeebene wurden die Methanpotenziale für Bayern nach Biomassetyp aggregiert, wie in Abbildung 7-4 dargestellt. Der Ist-Stand basiert auf den Flächennutzungen und Tierzahlen des letzten verfügbaren Datenstandes aus dem Jahr 2022. Für dieses Szenario wurden 97,1 % aller in den INVEKOS-Daten erfassten Flächen berücksichtigt. Die Szenarien beziehen sich auf Schätzungen der Flächennutzungen, Tierzahlen und anderer Einflussfaktoren für das Jahr 2030 (siehe Kapitel 6.1). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist besonders zu beachten, dass für die mittleren und hohen Szenarien angenommen wurde, dass jeweils 50 % bzw. 100 % der nicht mehr in der Tierhaltung benötigten Biomasse für die Energiegewinnung in Biogasanlagen zur Verfügung stehen. Dadurch steigt das Potenzial von beschränkter Biomasse in beiden Szenarien im Vergleich zum Basisszenario signifikant an. Ähnliches gilt für unbeschränkte Biomasse (Nebenprodukte und Grünfutter von Dauergrünland), die aber in jedem Szenario, dadurch dass sie nicht als "beschränkt" gelten, zu 100 % für die energetische Nutzung in Biogasanlagen verfügbar gemacht wird. Im Gegensatz dazu wird erwartet, dass das Potenzial aus Wirtschaftsdüngern in allen Szenarien gegenüber 2022 abnimmt, da weniger Wirtschaftsdünger durch den Rückgang der Tierhaltung anfallen wird. Trotz dieser Einschränkungen bleiben Wirtschaftsdünger nach der beschränkten Grünfutter-Biomasse von Ackerland und unbeschränkter Grünfutter-Biomasse die zweitgrößte bzw. unter den Rahmenbedingungen des hohen Szenarios die drittgrößte Biomassefraktion.

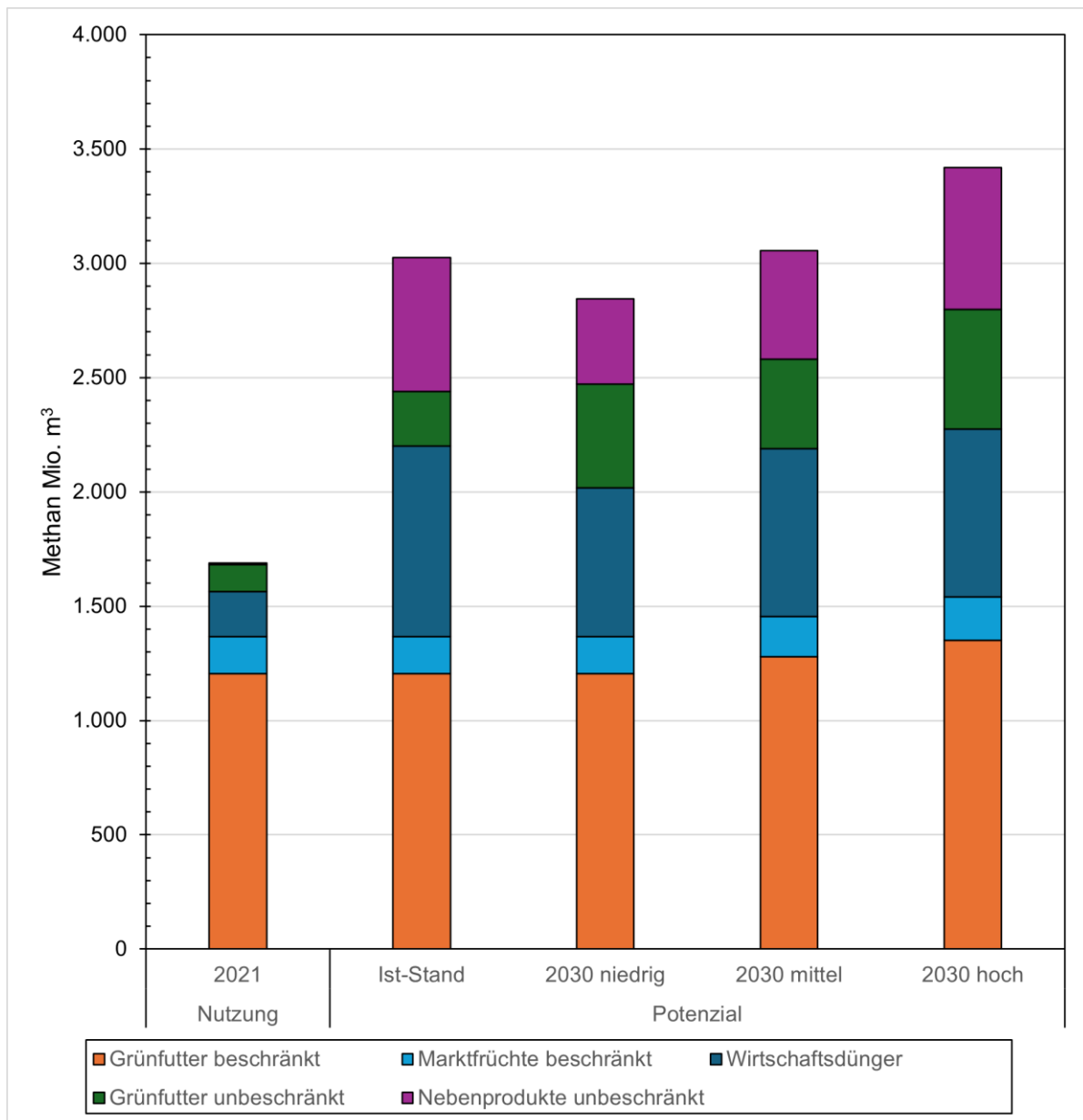


Abbildung 7-4: Jährliches Methanpotenzial nach Biomassetyp, -herkunft und Eignung zur Energiegewinnung in den unterschiedlichen Szenarien

Unbeschränkte Grünfutter-Biomasse, die im IST-Stand rechnerisch nicht genutzt wird, umfasst insbesondere Dauerkulturen wie Riesenweizengras, Silphie und Biomasse von Flächen, die aus der Produktion genommen wurden, z.B. Randstreifen. Die Biomasse von letzteren Flächen wird als Blümmischungen zusammengefasst. Der Beitrag dieser Substrate zum gesamten Potenzial der unbeschränkten Grünfutter-Biomasse ist jedoch im Vergleich zur größten Fraktion, dem Klee gras, deutlich geringer. Rechnerisch wird aktuell nur etwa 1% des Klee gras-Aufwuchs in Biogasanlagen genutzt. Die Vergärung von Klee gras ist prozesstechnisch herausfordernd, kann aber durch eine angepasste Substratmischung, Prozessführung und -überwachung gelingen. Neben der Verwertung des energetischen Potenzials des Klee grasses ist auch der Einsatz des Gärrests als schnell wirksamer Stickstoffdünger insbesondere in Öko-Betrieben ein wichtiger Aspekt, der für eine verstärkte Mobilisierung dieses Substrats spricht.

Laut den Prognosen für das Jahr 2030, basierend auf den Rahmenbedingungen und unter Berücksichtigung der Einschätzungen von Projektpartnern und Stakeholdern, beläuft sich das Gesamtmethanpotenzial der zur Biogaserzeugung geeigneten und nutzbaren Biomasse auf 2.845 bis 3.418 Mio. m³ jährlich (siehe Tabelle 7-3). Basierend auf diesen Zahlen wäre eine potenzielle Steigerung gegenüber der aktuellen Methanproduktion aus Biogas von 1.689 Mio. m³ pro Jahr um 68 % bis 102 % darstellbar. Diese signifikante Steigerung ist möglich, sofern es gelingt, die gesamte Biomasse zu mobilisieren und die zugrundeliegenden Annahmen zur Entwicklung der Rahmenbedingungen zutreffend sind.

Tabelle 7-3: Methanproduktion und Methanpotenzial der gesamten landwirtschaftlichen Biomasse in den unterschiedlichen Szenarien

	Produktion	Technisches Methanpotenzial [Mio. m ³]			
		Ist-Stand	Niedrig	Mittel	Hoch
Datenstand	2021	2022	2030		
Grünfutter (beschränkt)	1.206	1.206	1.206	1.279	1.352
Grünfutter (beschränkt) - Potenzielle Steigerung	-	-	-	73	146
Marktfrüchte	162	162	162	176	189
Marktfrüchte - Potenzielle Steigerung	-	-	-	14	27
Grünfutter (unbeschränkt)	119	239	452	392	523
Grünfutter (unbeschränkt) - Potenzielle Steigerung	-	120	333	273	404
Wirtschaftsdünger	196	832	651	734	734
Wirtschaftsdünger - Potenzielle Steigerung	-	636	455	538	538
Nebenprodukte	6	587	374	474	620
Nebenprodukte - Potenzielle Steigerung	-	581	368	468	614
Summe	1.689	3.026	2.845	3.055	3.418
Summe - Potenzielle Steigerung	-	1.337	1.156	1.366	1.729

	Produktion	Technisches Methanpotenzial [Mio. m ³]			
		Ist-Stand	Niedrig	Mittel	Hoch
Summe - Potenzielle Steigerung [%]	-	79	68	81	102

Bei den Wirtschaftsdüngern ist zu beachten, dass im mittleren sowie im hohen Szenario das Potenzial höher ist als im niedrigen Szenario, aber geringer ist als im Ist-Stand. Dieser scheinbare Widerspruch liegt daran, dass die Entwicklung der Tierhaltung auf zwei Arten das technische Methanpotenzial beeinflusst. Zum einen sinkt bei einem Rückgang der Viehzahlen die Menge verfügbarer Wirtschaftsdünger, zum anderen wird aber Biomasse frei, die vorher als Futtermittel genutzt wurde. Dabei handelt es sich sowohl um beschränkte, aber auch um unbeschränkte Biomasse (insb. Gras von Dauergrünland). Grundsätzlich zeigt der Trend der Viehbestände der letzten Jahre einen Rückgang der Viehhaltung an, sodass auch im hohen Szenario davon auszugehen ist, dass weniger Wirtschaftsdünger als im Ist-Stand verfügbar ist.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit Berechnungen anderer Studien, ergeben sich mehrere Unterschiede. Beispielsweise wurde in der Studie „Bayernplan - Einsatz von Biogas zum Ersatz von Gaskraftwerken“ [41] aus dem Jahr 2015 für Bayern ein zusätzlich erschließbares Methanpotenzial von etwa 838,9 Mio. m³ jährlich ermittelt. Davon stammten jeweils 28 % aus Wirtschaftsdüngern und dem Rückgang des Futterbaus sowie 36 % aus Erntenebenprodukten. Die Berechnungen der vorliegenden Studie ergeben ein deutlich höheres Methanpotenzial aus Wirtschaftsdüngern (siehe Tabelle 7-3), da anders als im „Bayernplan“ keine pauschalen Abzüge hinsichtlich der Verfügbarkeit des Wirtschaftsdüngers in Abhängigkeit von der Bestandsgröße oder der Bereitschaft der Landwirte zur Bereitstellung als Biogassubstrat vorgenommen wurden. Der Rückgang der Tierhaltung bis 2030 und die teilweise Bereitstellung der ungenutzten Biomasse (Futtermittel und Einstreu) für die energetische Nutzung führt nach den vorliegenden Berechnungen – je nach Rahmenbedingungen – zu einem zusätzlichen Methanpotenzial von 228 im mittleren bis 457 Mio. m³ jährlich im „Hoch“ Szenario. Auch hier wurde im Vergleich zum „Bayernplan“ keine einschränkende Annahme bezüglich der Bereitschaft der Landwirte zur Biomassenutzung für energetische Zwecke getroffen. Die Methanproduktion aus Erntenebenprodukten könnte nach den vorliegenden Berechnungen um 368 bis 614 Mio. m³ jährlich gesteigert werden, wobei zu beachten ist, dass hierbei nur im Ist-Stand und im „Hoch“ Szenario eine 100-prozentige Nutzbarkeit der Erntenebenprodukte für die Produktion von Biogas angenommen wurde. Dies ist nur möglich, sofern gewährleistet ist, dass der Gärrest aus der Vergärung der Erntenebenprodukte auch auf diejenigen Flächen zurückgeführt wird, von denen die Erntenebenprodukte gewonnen wurden. In den Szenarien hingegen wurden teilweise restriktive Annahmen hinsichtlich der Rückführung der Gärreste getroffen, sodass im niedrigen Szenario außer Getreidestroh (100 % Nutzbarkeit) nur 50 % der Erntenebenprodukte genutzt werden können. Im mittleren Szenario wurde angenommen, dass Getreidestroh zu 100 % und alle übrigen Erntenebenprodukte zu 75 % des Anfalls genutzt werden können. Die Rückführung der Gärreste auf die Ackerflächen bzw. der Verbleib der Erntenebenprodukte auf den Ackerflächen ist von zentraler Bedeutung für die Humusreproduktion. Die Humusreproduktion wird jedoch auch von weiteren, betriebsindividuellen Größen (weitere organische Dünger, Fruchtfolge) beeinflusst, sodass die langfristig nachhaltig mögliche Nutzung von Erntenebenprodukten stets eine betriebsindividuelle Entscheidung ist.

Besonders auffällig ist gemäß Tabelle 7-3 die derzeit geringe Nutzung des vorhandenen technischen Methanpotenzials von Wirtschaftsdüngern (24 %) und Nebenprodukten (1 %) für die Biogasproduktion. Dies ergibt sich aus den Daten zur aktuellen Produktion und dem Potenzial im Ist-Stand. Zusammen mit der unbeschränkten Grünfütter-Biomasse im Fall eines Rückgangs der Tierhaltung repräsentieren diese Biomassen die größten Potenziale für eine Steigerung der Methanproduktion aus Biogas, ohne den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) zu erhöhen. Insgesamt wirkt der Rückgang der Viehhaltung für das technische Biomasse-Potenzial positiv, wenn die nicht mehr in der Tierhaltung benötigte Biomasse auch für die Produktion von Biogas genutzt werden kann. Im mittleren Szenario werden 50 % der nicht mehr in der Tierhaltung benötigten Biomasse für die Bestimmung des Methanpotenzials berücksichtigt (+ 228 Mio. m³), was den Rückgang des Methanpotenzials aus Wirtschaftsdüngern gegenüber dem Ist-Stand überwiegt (- 98 Mio. m³). Im hohen Szenario ist diese Entwicklung mit + 457 Mio. m³ aus nicht mehr in der Tierhaltung benötigter Biomasse gegenüber dem Rückgang von -98 Mio. m³ aus Wirtschaftsdüngern noch ausgeprägter. Nur im niedrigen Szenario kann die aus der Tierhaltung freiwerdende Biomasse nicht genutzt werden, sodass im Saldo ein geringeres Methanpotenzial verfügbar ist.

7.1.2 Ergebnisse der Berechnungen auf Landkreisebene

Basierend auf den Ergebnissen auf Gemeindeebene wurden die Methanpotenziale auf Ebene der Landkreise aggregiert und in Karten dargestellt (Abbildung 7-5 bis Abbildung 7-8), wobei die Zuordnung der kreisfreien Städte entsprechend Tabelle 7-4 erfolgte.

Tabelle 7-4: Zuordnung der kreisfreien Städte zu den Landkreisen in Bayern

Kreisfreie Stadt	Zuordnung zu Landkreis
Amberg	Amberg-Weizsach
Ansbach	Ansbach
Aschaffenburg	Aschaffenburg
Augsburg	Augsburg
Bamberg	Bamberg
Bayreuth	Bayreuth
Coburg	Coburg
Erlangen	Erlangen-Höchstädt
Fürth	Fürth
Hof	Hof
Ingolstadt	Eichstätt
Kaufbeuren	Ostallgäu
Kempten (Allgäu)	Oberallgäu
Landshut	Landshut
Memmingen	Unterallgäu
München	München
Nürnberg	Nürnberger Land
Passau	Passau
Regensburg	Regensburg
Rosenheim	Rosenheim
Schwabach	Roth

Kreisfreie Stadt	Zuordnung zu Landkreis
Schweinfurt	Schweinfurt
Straubing	Straubing-Bogen
Weiden i.d.Opf.	Neustadt a.d.Waldnaab
Würzburg	Würzburg

Tabelle 7-5 zeigt ein Beispiel für die Bilanzierung und Umverteilung von beschränkter Biomasse, dargestellt am Beispiel von Maissilage für drei Gemeinden im Landkreis Freising im Ist-Stand. Die Tabelle veranschaulicht, wie die Produktion, Nutzung und das resultierende Delta (Überschuss) von Biomasse in den einzelnen Gemeinden ermittelt und umverteilt wird. Die Größe Delta misst die Biomasse, die potenziell exportiert werden kann. Daher stimmt sie nicht genau mit der Größe Export oder Import überein. Export misst die Biomasse, die rechnerisch exportiert werden muss, um den Importbedarf der Gemeinden zu decken, die weniger produzieren, als sie in der Tierhaltung und den Biogasanlagen verbrauchen.

Tabelle 7-5: Beispiel der Bilanzierung und Umverteilung von beschränkter Biomasse am Beispiel von Maissilage für drei Gemeinden im Landkreis Freising im Ist-Stand.

Gemeinde	Produktion [t _{FM}]	Nutzung[t _{FM}] Biogas- anlagen	Tier- haltung	Delta [t _{FM}]	Import [t _{FM}]	Export [t _{FM}]	Potenzial [t _{FM}]
Allershausen	11.955	6.506	4.723	726	0	493	6.999
Eching	9.604	568	2.601	6.435	0	4.378	4.946
Rudelzhausen	6.004	6.824	1.277	0	2.097	0	4.727

In Allershausen wird beispielsweise rechnerisch eine Produktion von 11.955 t_{FM} Maissilage festgestellt. Die Nutzung in Biogasanlagen und in der Tierhaltung summiert sich auf 11.229 t_{FM}. Somit ergibt sich ein Überschuss von 726 t_{FM}, der nicht lokal genutzt wird, sondern für den Export zur Verfügung steht. Rudelzhausen hingegen produziert nur 6.004 t_{FM} benötigt aber 8.101 t_{FM}, was einen Importbedarf von 2.097 t_{FM} ergibt. Da die gesamte Produktion von Rudelzhausen lokal genutzt wird, wird nichts exportiert. Der Export von Allershausen (493 t_{FM}) wird teilweise zur Deckung des Importbedarfs von Rudelzhausen verwendet, wobei auch andere Gemeinden mit positivem Delta zum Export beitragen.

Das Methanpotenzial jeder Gemeinde wird unter Berücksichtigung dieser Export- und Importbewegungen bestimmt. Bei Gemeinden mit positivem Delta, wie Allershausen, wird das Exportvolumen der aktuellen Nutzung in Biogasanlagen zugerechnet, was ein Gesamtpotenzial von 6.999 t_{FM} ergibt. In Rudelzhausen wird hingegen zuerst die stoffliche Nutzung in der Tierhaltung von der Gesamtproduktion abgezogen, sodass sich ein energetisches Potenzial von nur 4.727 t_{FM} ergibt. Der Import wird nicht zum Potenzial hinzugerechnet, da dieser bereits in den exportierenden Gemeinden berücksichtigt wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass für die Versorgung der Biogasanlagen im IST-Stand innerhalb Bayerns rechnerisch etwa 3.230 Tsd. t_{FM} Maissilage über Gemeindegrenzen transportiert werden, was 17 % der Gesamtproduktion entspricht. Bei Getreide-Ganzpflanzensilage sind es etwa 446 Tsd. t_{FM}, der Anteil der Exporte an der Gesamtproduktion liegt damit bei 40 %.

In den folgenden Abbildungen sind die räumlichen Verteilungen der technischen Methanpotenziale je Biomasse-Typ im Ist-Stand aufgeführt. Bei unbeschränkter Biomasse wie Erntenebenprodukte (vgl. Abbildung 7-7) und Wirtschaftsdünger (vgl. Abbildung 7-8) zeigt sich ein auffälliger Gegensatz in der räumlichen Verfügbarkeit des ungenutzten Potenzials. Während höhere Potenziale von Erntenebenprodukten vor allem im Nordwesten, im Zentrum und im Osten Bayerns lokalisiert sind, finden sich bedeutende Potenziale von Wirtschaftsdüngern hauptsächlich in Süd- und Ostbayern. Dieser Unterschied ist sehr wahrscheinlich auf die Struktur der Viehhaltung und der Landnutzung zurückzuführen.

In Landkreisen mit einem hohen Anteil an Dauergrünland spielt die Rinderhaltung eine signifikante Rolle, was in der Regel zu einer geringeren Produktion von Getreidestroh bei gleichzeitig hohem Bedarf an Einstreu führt. Infolgedessen stehen in diesen Landkreisen tendenziell weniger Nebenprodukte, aber mehr Wirtschaftsdünger zur Verfügung. Umgekehrt verhält es sich in Landkreisen mit geringer Viehhaltung: Hier sind eher höhere Mengen an Erntenebenprodukten verfügbar, während das Angebot an Wirtschaftsdüngern geringer ist.

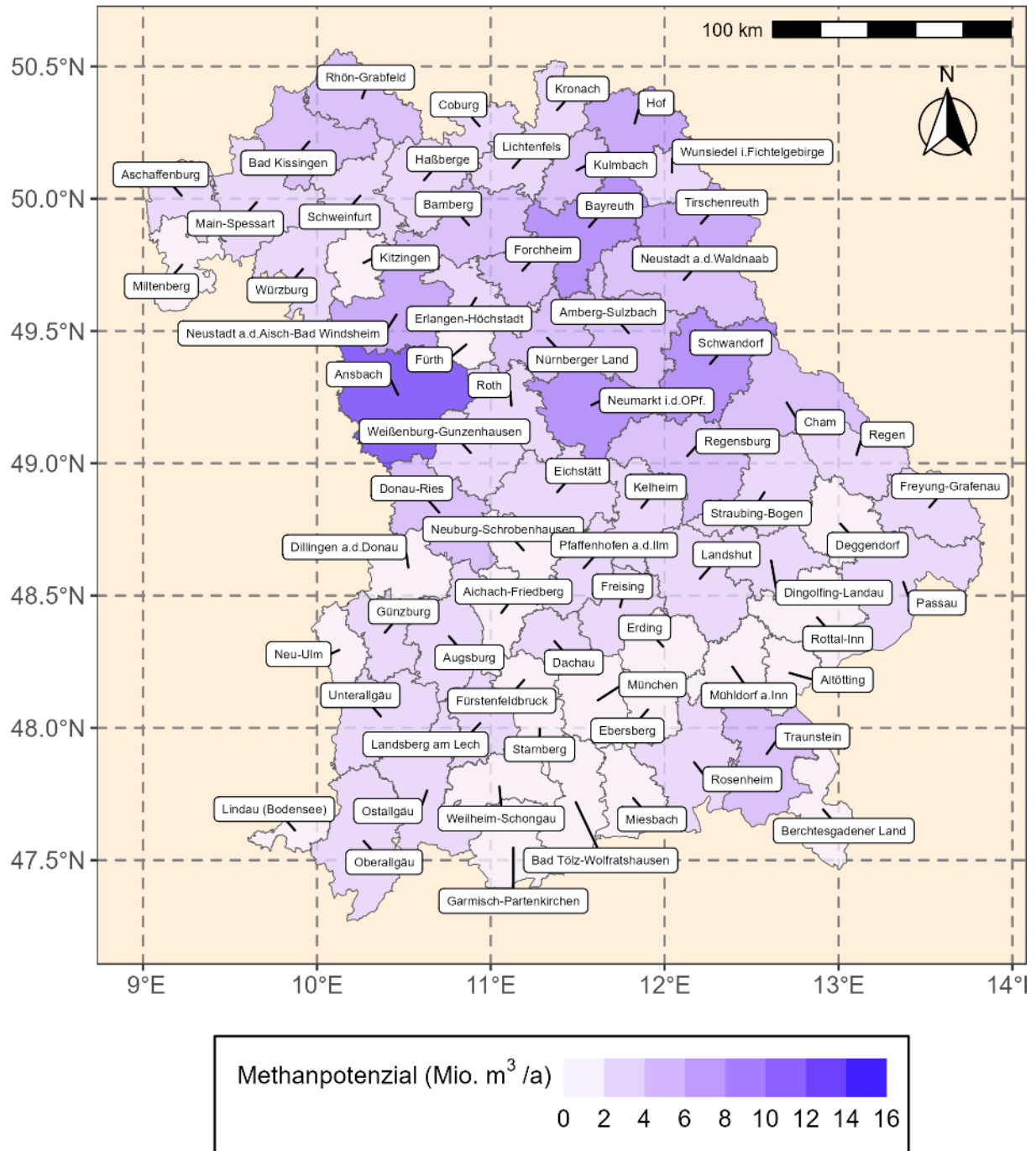


Abbildung 7-5: Technisches Potenzial von unbeschränkter Grünfütter-Biomasse im Ist-Stand je Landkreis

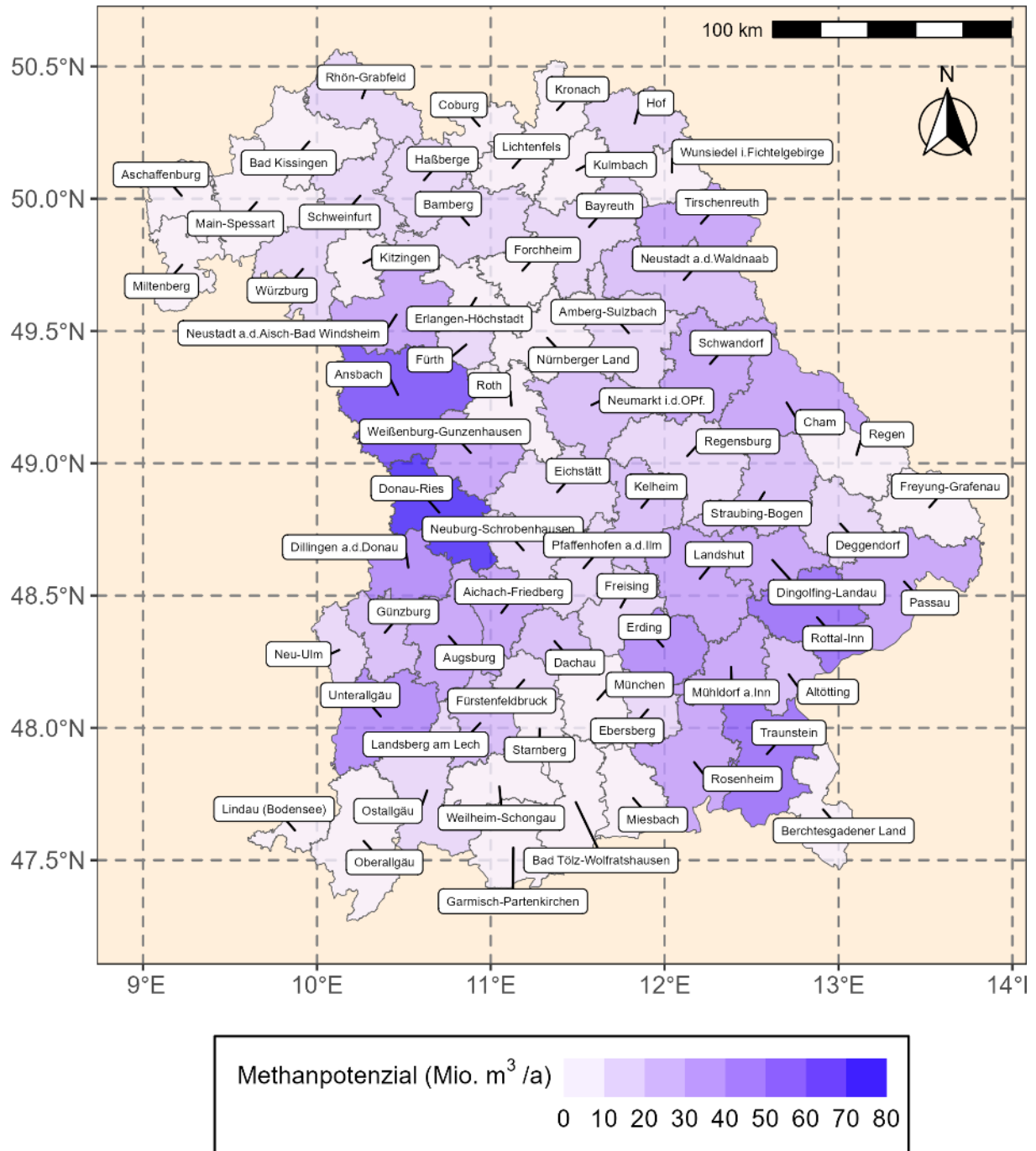


Abbildung 7-6: Technisches Potenzial von beschränkter Grünfütter- und Marktfrucht-Biomasse im Ist-Stand je Landkreis

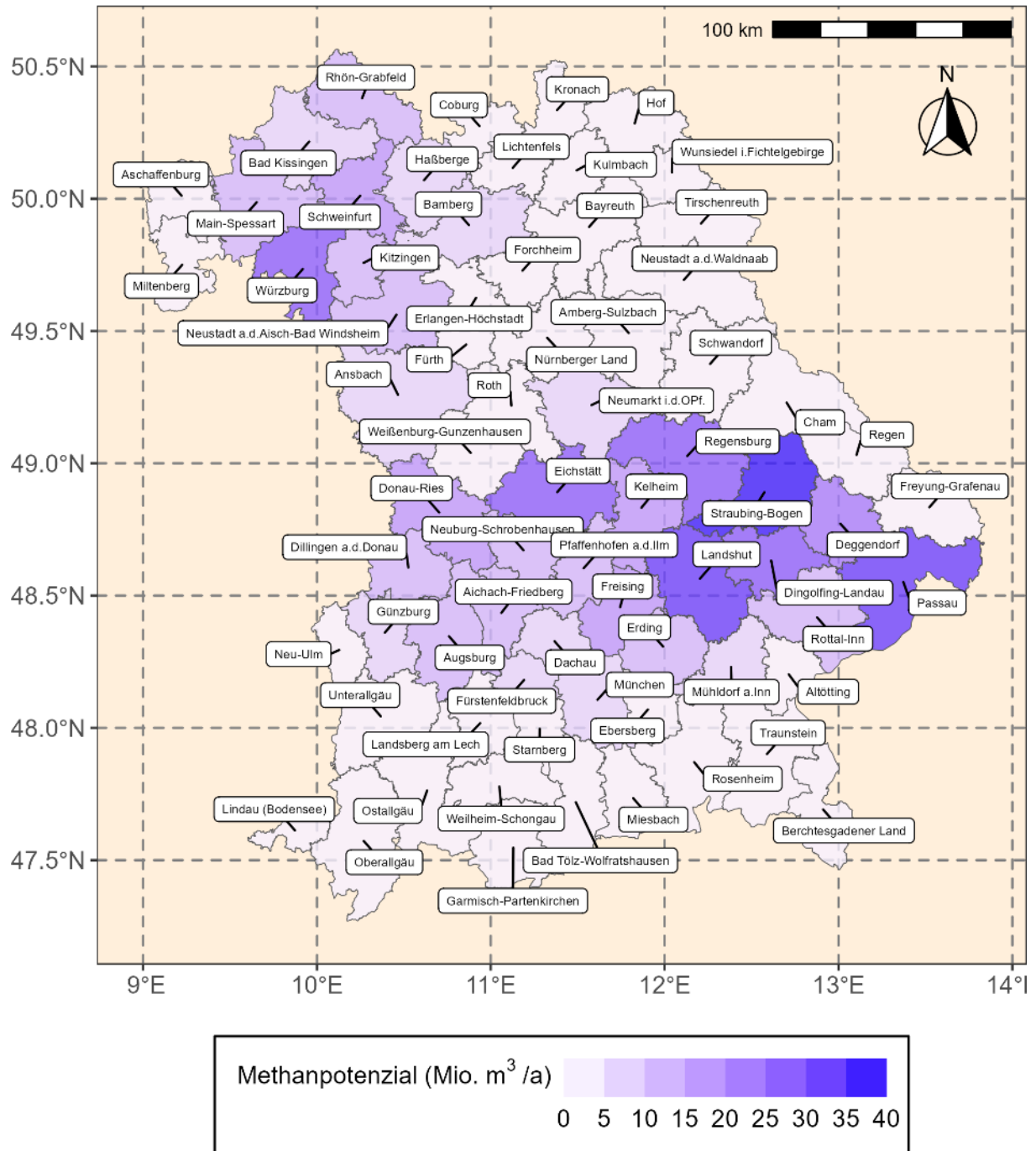


Abbildung 7-7: Technisches Potenzial von Nebenprodukten im Ist-Stand je Landkreis

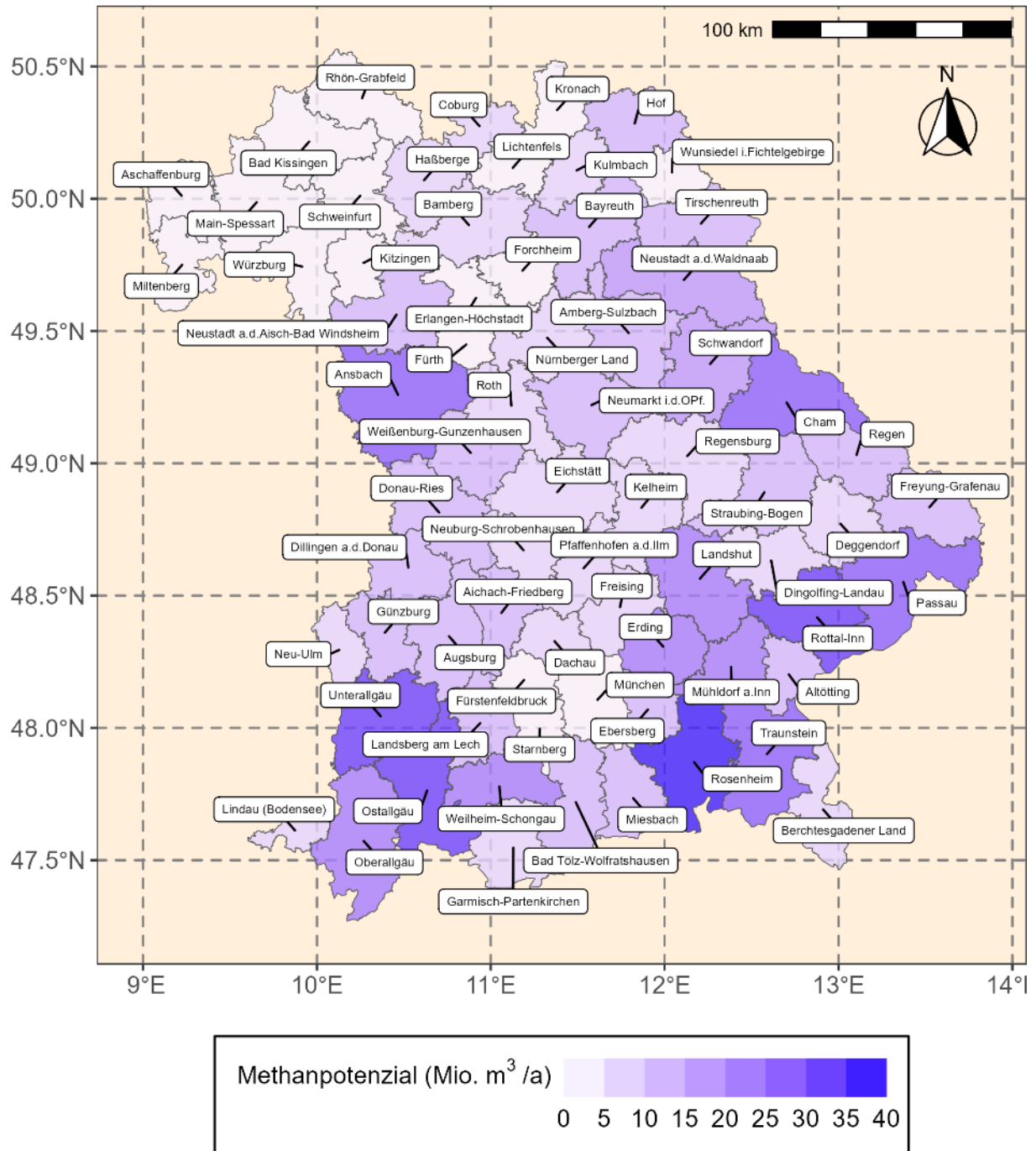


Abbildung 7-8: Technisches Potenzial von Wirtschaftsdüngern im Ist-Stand je Landkreis

Zusätzlich werden in Tabelle 7-6 noch die technischen Methanpotenziale im IST-Stand je Landkreis aufgeführt.

Tabelle 7-6: Technisches Methanpotenzial im Ist-Stand je Landkreis und Biomassetyp

Landkreis	Unbeschränkte Grünfütter- Biomasse [Mio. m ³]	Beschränkte Grünfütter- und Marktfrucht- Biomasse [Mio. m ³]	Nebenpro- dukte [Mio. m ³]	Wirtschafts- dünger [Mio. m ³]
Aichach-Friedberg	1,7	34,4	10,6	11,0
Altötting	1,2	24,7	4,9	10,6
Amberg-Weizbach	5,7	16,0	4,7	14,5
Ansbach	12,6	60,4	9,0	28,8
Aschaffenburg	2,1	1,7	2,4	2,5
Augsburg	3,6	33,5	11,1	13,9
Bad Kissingen	4,6	2,2	6,9	4,8
Bad Tölz- Wolfratshausen	1,9	4,0	0,0	11,7
Bamberg	4,8	16,9	8,8	6,3
Bayreuth	8,4	19,9	2,5	13,6
Berchtesgadener Land	1,4	6,5	0,1	8,8
Cham	5,6	34,4	1,3	27,4
Coburg	2,5	6,8	4,8	6,1
Dachau	2,1	24,7	9,3	9,3
Deggendorf	1,8	13,7	22,2	9,4
Dillingen a.d.Donau	1,3	43,8	12,9	11,6
Dingolfing-Landau	2,1	30,3	25,5	8,6
Donau-Ries	4,5	77,2	18,2	13,9
Ebersberg	1,4	16,9	2,7	10,5
Eichstätt	3,2	12,4	25,5	6,4
Erding	1,3	49,5	10,4	20,1
Erlangen- Höchstädt	2,7	7,2	3,2	3,4
Forchheim	4,0	9,0	2,6	3,7
Freising	3,1	15,1	15,5	7,1
Freyung-Grafenau	3,2	5,7	0,0	10,5
Fürstenfeldbruck	1,7	11,2	5,0	4,4
Fürth	1,4	12,3	2,2	3,8
Garmisch- Partenkirchen	1,8	0,3	0,0	5,2
Günzburg	2,4	23,1	6,1	11,2
Haßberge	3,9	11,1	9,0	5,2
Hof	7,0	19,6	3,4	11,6
Kelheim	2,5	22,2	19,1	5,2
Kitzingen	1,6	8,9	13,1	4,4
Kronach	3,4	2,8	1,1	2,9

Landkreis	Unbeschränkte Grünfütter- Biomasse [Mio. m ³]	Beschränkte Grünfütter- und Marktfrucht- Biomasse [Mio. m ³]	Nebenpro- dukte [Mio. m ³]	Wirtschafts- dünger [Mio. m ³]
Kulmbach	4,3	5,6	3,1	5,8
Landsberg am Lech	3,1	21,5	4,4	10,8
Landshut	2,9	37,9	31,7	22,9
Lichtenfels	2,0	5,8	3,4	3,3
Lindau (Bodensee)	0,4	1,0	0,0	7,3
Main-Spessart	3,7	3,8	10,3	2,7
Miesbach	1,6	3,2	0,0	10,5
Miltenberg	1,3	2,7	2,7	2,8
Mühlldorf a.Inn	1,9	34,3	7,2	21,0
München	1,6	7,3	6,2	3,0
Neuburg- Schrobenhausen	1,6	15,6	11,8	6,5
Neumarkt i.d.OPf.	8,8	25,5	7,1	13,1
Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	6,1	33,2	14,8	13,7
Neustadt a.d.Waldnaab	5,9	23,0	3,3	17,2
Neu-Ulm	1,3	18,9	4,2	5,8
Nürnberger Land	4,2	2,7	1,5	5,2
Oberallgäu	2,9	1,5	0,0	24,0
Ostallgäu	2,7	20,0	0,5	34,3
Passau	3,8	30,1	30,6	25,7
Pfaffenhofen a.d.Ilm	2,6	10,9	14,9	5,5
Regen	2,2	2,0	0,0	10,6
Regensburg	5,5	10,1	26,9	9,4
Rhön-Grabfeld	4,8	10,0	10,7	3,6
Rosenheim	3,0	34,9	0,7	41,8
Roth	2,7	7,9	3,2	8,6
Rottal-Inn	1,8	53,8	14,4	33,6
Schwandorf	8,1	37,4	4,9	18,0
Schweinfurt	3,0	10,0	16,7	3,6
Starnberg	1,9	4,1	1,3	3,6
Straubing-Bogen	3,5	20,2	36,6	10,5
Tirschenreuth	7,1	31,8	2,4	14,5
Traunstein	4,9	52,4	2,7	29,5
Unterallgäu	3,6	45,7	2,2	34,1
Weilheim- Schongau	2,0	9,1	0,0	20,9
Weißenburg- Gunzenhausen	3,4	30,3	4,3	11,3

Landkreis	Unbeschränkte Grünfütter- Biomasse [Mio. m ³]	Beschränkte Grünfütter- und Marktfrucht- Biomasse [Mio. m ³]	Nebenpro- dukte [Mio. m ³]	Wirtschafts- dünger [Mio. m ³]
Wunsiedel i.Fichtelgebirge	3,6	9,6	1,6	4,7
Würzburg	2,9	16,2	27,1	4,1

7.2 Biogaspotenziale aus der Abfallwirtschaft

7.2.1 Ist-Stand des Biogaspotenzials aus der Abfallwirtschaft

Das Mengenpotenzial der fünf betrachteten Stoffströme für die Biogaserzeugung aus der Abfallwirtschaft beträgt in Summe im Bezugsjahr 2021 für ganz Bayern 3,32 Mio. Mg/a (Abbildung 7-9). Das Biogut ist mit einem Anteil von 25 % der Gesamtmenge dabei der größte Stoffstrom vor dem krautigen Grüngut (23 %), den gewerblichen Lebensmittelabfällen (20 %), der Organik im Hausmüll (19 %) und dem Landschafts- und Straßenpflegematerial (13 %).

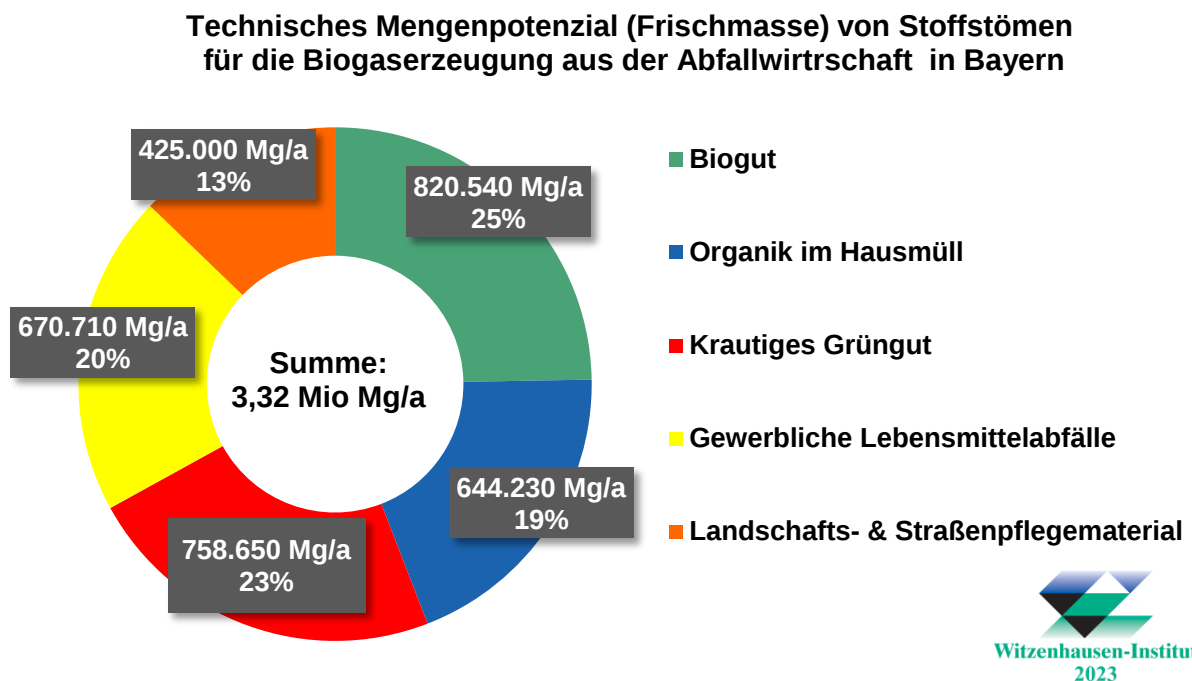


Abbildung 7-9: Ist-Stand des technischen Mengenpotenzials von Stoffströmen für die Biogaserzeugung aus der Abfallwirtschaft in Bayern

Das technische Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft beträgt in Summe im Bezugsjahr 2021 für ganz Bayern 205 Mio. m³/a (Abbildung 7-10). Jeweils rund ein Viertel davon entfällt auf das Biogut (49 Mio. m³/a), die Organik im Hausmüll (55 Mio. m³/a) und die gewerblichen Lebensmittelabfälle (56 Mio. m³/a). Das Potenzial des krautigen Grünguts liegt bei 18 Mio. m³/a und das Potenzial des Landschafts- und Straßenpflegematerials bei 27 Mio. m³/a.

Die technischen Methanpotenziale aus der Abfallwirtschaft der einzelnen bayerischen Kommunen sind in den Datentabellen dargestellt, die als Anlage zu diesem Bericht erstellt wurden.

Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft in Bayern

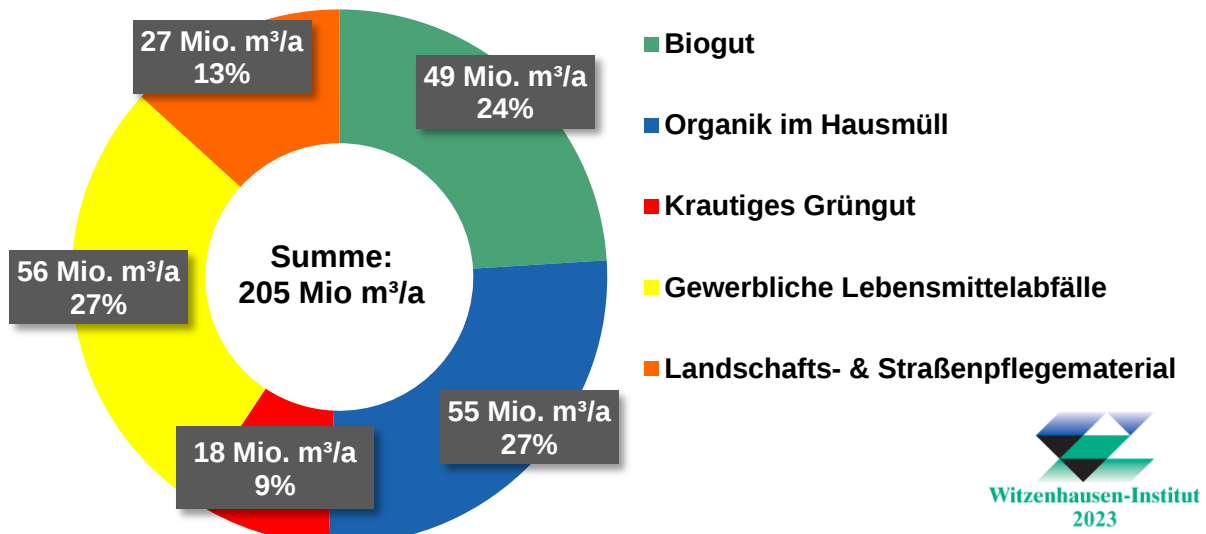


Abbildung 7-10: Ist-Stand des technischen Methanpotenzials aus der Abfallwirtschaft in Bayern als Summe aus fünf Stoffströmen (in m³/a)

Von den einzelnen Stoffströmen befanden sich 2021 unterschiedliche Anteile bereits in der Nutzung zur Biogaserzeugung (Tabelle 7-7). Beim Biogas waren es 63 %, bei der Organik im Hausmüll 0 %, und beim krautigen Grüngut 8 %. Für die gewerblichen Lebensmittelabfälle und das vergärbare Landschafts- und Straßenpflegematerial konnten keine exakten Daten ermittelt werden, sodass hier Expertenschätzungen durch das Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH vorgenommen wurden.

Tabelle 7-7: Verwendete Biogasausbeuten und Methangehalte der betrachteten fünf Stoffströme aus der Abfallwirtschaft für die Berechnung der Methanpotenziale

Stoffstrom	Anteil des Methanpotenzials, der 2021 zur Biogaserzeugung genutzt wurde
Biogas	63 %
Organik im Hausmüll	0 %
Krautiges Grüngut	8 %
Gewerbliche Lebensmittelabfälle	90 % (Schätzung)
Vergärbare Landschafts- & Straßenpflegematerial	5 % (Schätzung)

Insgesamt wurden in Bayern 2021 bereits 84 Mio. m³ Methan aus den fünf Stoffströmen der Abfallwirtschaft - überwiegend als Biogas zur Verstromung - genutzt (Abbildung 7-11). Dies entspricht einem Anteil von ca. 41 % des technischen Methanpotenzials. 61 % dieses genutzten Potenzialanteils stammen aus gewerblichen Lebensmittelabfällen, weitere 37 % aus dem Biogas.

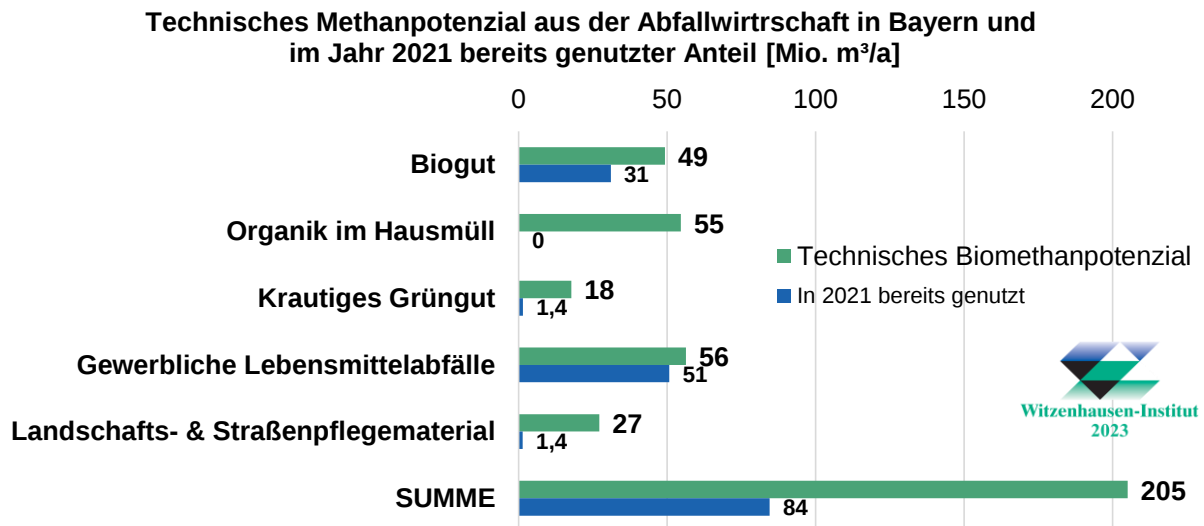


Abbildung 7-11: Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft in Bayern und im Jahr 2021 für die Biogaserzeugung bereits genutzter Anteil

7.2.2 Ergebnisse der Berechnungen auf Landkreisebene

Basierend auf den Ergebnissen auf Gemeindeebene wurden die Methanpotenziale auf Ebene der Landkreise aggregiert. Analog zur Vorgehensweise im Bereich der landwirtschaftlichen Methanpotenziale erfolgte dabei eine Zuordnung der kreisfreien Städte zu den Landkreisen entsprechend der Tabelle 7-4.

Die Ergebnisse dieser regionalisierten Betrachtung finden sich in Tabelle 7-8 sowie in Abbildung 7-12 als Summe aller fünf Stoffströme aus der Abfallwirtschaft bzw. in Abbildung 7-13 bis Abbildung 7-17 für die einzelnen Stoffströme

Tabelle 7-8: Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft im Ist-Stand je Landkreis und Stoffstrom

Landkreis	Biogut	Organik im Hausmüll	Krautiges Grüngut	Gewerbliche Lebensmittelabfälle	Vergärbare Landschafts- & Straßenpflegematerial	SUMME
Technisches Methanpotenzial [Mio. m³]						
Aichach-Friedberg	1,38	0,42	0,08	0,58	0,30	2,77
Altötting	0	0,57	0,16	0,48	0,21	1,43
Amberg-Weizsach	0,14	0,58	0,26	0,62	0,56	2,16
Ansbach	1,31	0,67	0,20	0,97	0,89	4,03
Aschaffenburg	0,88	0,62	0,39	1,05	0,17	3,13
Augsburg	3,44	2,51	0,42	2,37	0,41	9,15
Bad Kissingen	0,52	0,39	0,25	0,44	0,45	2,05
Bad Tölz-Wolfratshausen	0,58	0,50	0,21	0,55	0,48	2,32
Bamberg	1,30	0,86	0,22	0,96	0,45	3,80
Bayreuth	0,75	0,66	0,35	0,76	0,51	3,02

Landkreis	Biogut	Organik im Hausmüll	Krautiges Grüngut	Gewerb- liche Lebens- mittel- abfälle	Vergärbares Landschafts- & Straßen- pflege- material	SUMME
Technisches Methanpotenzial [Mio. m³]						
Berchtesgadener Land	0,27	0,41	0,13	0,45	0,34	1,59
Cham	0,59	0,36	0,24	0,55	0,68	2,42
Coburg	0,001	0,71	0,38	0,55	0,23	1,86
Dachau	0,36	0,57	0,18	0,66	0,19	1,96
Deggendorf	0,81	0,40	0,16	0,52	0,36	2,24
Dillingen a.d.Donau	0,88	0,33	0,05	0,42	0,32	1,99
Dingolfing-Landau	0,32	0,36	0,16	0,42	0,38	1,63
Donau-Ries	1,21	0,46	0,07	0,58	0,54	2,85
Ebersberg	0,65	0,42	0,32	0,62	0,16	2,17
Eichstätt	1,16	1,09	0,37	1,16	0,54	4,31
Erding	0,78	0,49	0,18	0,60	0,32	2,36
Erlangen- Höchstädt	1,42	0,83	0,20	1,08	0,16	3,70
Forchheim	0,79	0,40	0,07	0,50	0,24	2,00
Freising	0,62	0,72	0,12	0,77	0,28	2,52
Freyung-Grafenau	0,53	0,27	0,10	0,34	0,36	1,59
Fürstenfeldbruck	0,42	0,87	0,21	0,93	0,13	2,57
Fürth	1,52	0,90	0,13	1,06	0,09	3,71
Garmisch- Partenkirchen	0,35	0,26	0,06	0,38	0,38	1,42
Günzburg	0,38	0,39	0,37	0,55	0,29	1,97
Haßberge	0,48	0,22	0,10	0,36	0,41	1,57
Hof	0,88	0,46	0,57	0,59	0,36	2,87
Kelheim	0,51	0,44	0,15	0,53	0,39	2,03
Kitzingen	0,58	0,20	0,15	0,39	0,27	1,60
Kronach	0,002	0,34	0,17	0,28	0,27	1,07
Kulmbach	0,18	0,32	0,27	0,30	0,27	1,35
Landsberg am Lech	0,32	0,31	0,34	0,52	0,29	1,77
Landshut	0,57	0,98	0,31	1,01	0,55	3,42
Lichtenfels	0,002	0,39	0,16	0,29	0,20	1,04
Lindau (Bodensee)	0,25	0,30	0,15	0,35	0,11	1,15
Main-Spessart	0,91	0,52	0,009	0,54	0,47	2,45
Miesbach	0,65	0,31	0,10	0,43	0,36	1,85
Miltenberg	0,47	0,56	0,23	0,55	0,27	2,08
Mühlendorf a.Inn	0,12	0,48	0,19	0,50	0,33	1,62
München	4,76	10,95	0,70	7,86	0,19	24,46
Neuburg- Schrobenhausen	0,29	0,25	0,24	0,42	0,31	1,50
Neumarkt i.d.OPf.	0,09	0,55	0,34	0,58	0,57	2,14

Landkreis	Biogut	Organik im Hausmüll	Krautiges Grüngut	Gewerb- liche Lebens- mittel- abfälle	Vergärbares Landschafts- & Straßen- pflege- material	SUMME
Technisches Methanpotenzial [Mio. m³]						
Neustadt a.d.Aisch-Bad Windsheim	0,53	0,29	0,31	0,44	0,55	2,12
Neustadt a.d.Waldnaab	0,32	0,60	0,26	0,59	0,63	2,39
Neu-Ulm	0,46	0,73	0,36	0,76	0,14	2,45
Nürnberger Land	1,98	3,76	0,56	2,92	0,27	9,48
Oberallgäu	0,68	0,81	0,40	0,97	0,65	3,51
Ostallgäu	0,61	0,64	0,28	0,81	0,58	2,91
Passau	1,65	0,84	0,33	1,06	0,61	4,48
Pfaffenhofen a.d.Ilm	0,44	0,39	0,23	0,55	0,26	1,88
Regen	0,52	0,26	0,10	0,33	0,42	1,63
Regensburg	0,31	1,52	0,90	1,49	0,56	4,78
Rhön-Grabfeld	0,20	0,25	0,43	0,34	0,43	1,64
Rosenheim	0,09	1,54	0,61	1,40	0,55	4,18
Roth	0,49	0,59	0,34	0,72	0,34	2,48
Rottal-Inn	0,40	0,45	0,20	0,52	0,56	2,12
Schwandorf	0,01	0,61	0,11	0,64	0,61	1,98
Schweinfurt	0,47	0,67	0,28	0,73	0,33	2,48
Starnberg	0,64	0,41	0,11	0,58	0,13	1,88
Straubing-Bogen	0,79	0,67	0,30	0,64	0,54	2,94
Tirschenreuth	0,07	0,27	0,04	0,31	0,49	1,19
Traunstein	0,30	0,67	0,21	0,76	0,59	2,52
Unterallgäu	0,57	0,73	0,36	0,82	0,51	2,99
Weilheim- Schongau	0,60	0,42	0,18	0,58	0,39	2,18
Weißenburg- Gunzenhausen	0,71	0,26	0,08	0,41	0,41	1,87
Wunsiedel i.Fichtelgebirge	0,31	0,23	0,26	0,31	0,22	1,32
Würzburg	1,69	1,39	0,28	1,24	0,37	4,97

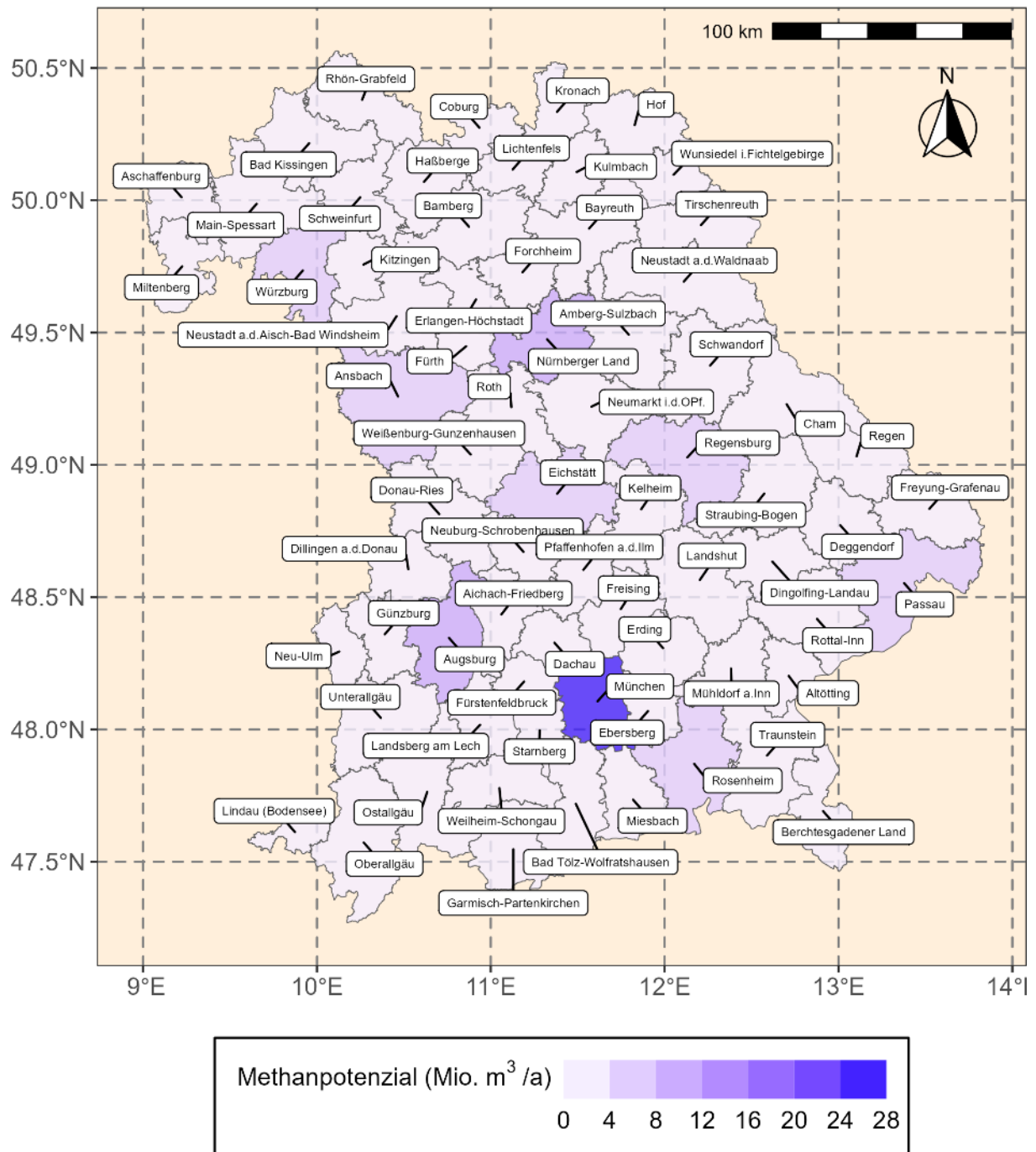


Abbildung 7-12: Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft (Summe von fünf Stoffströmen) im Ist-Stand je Landkreis

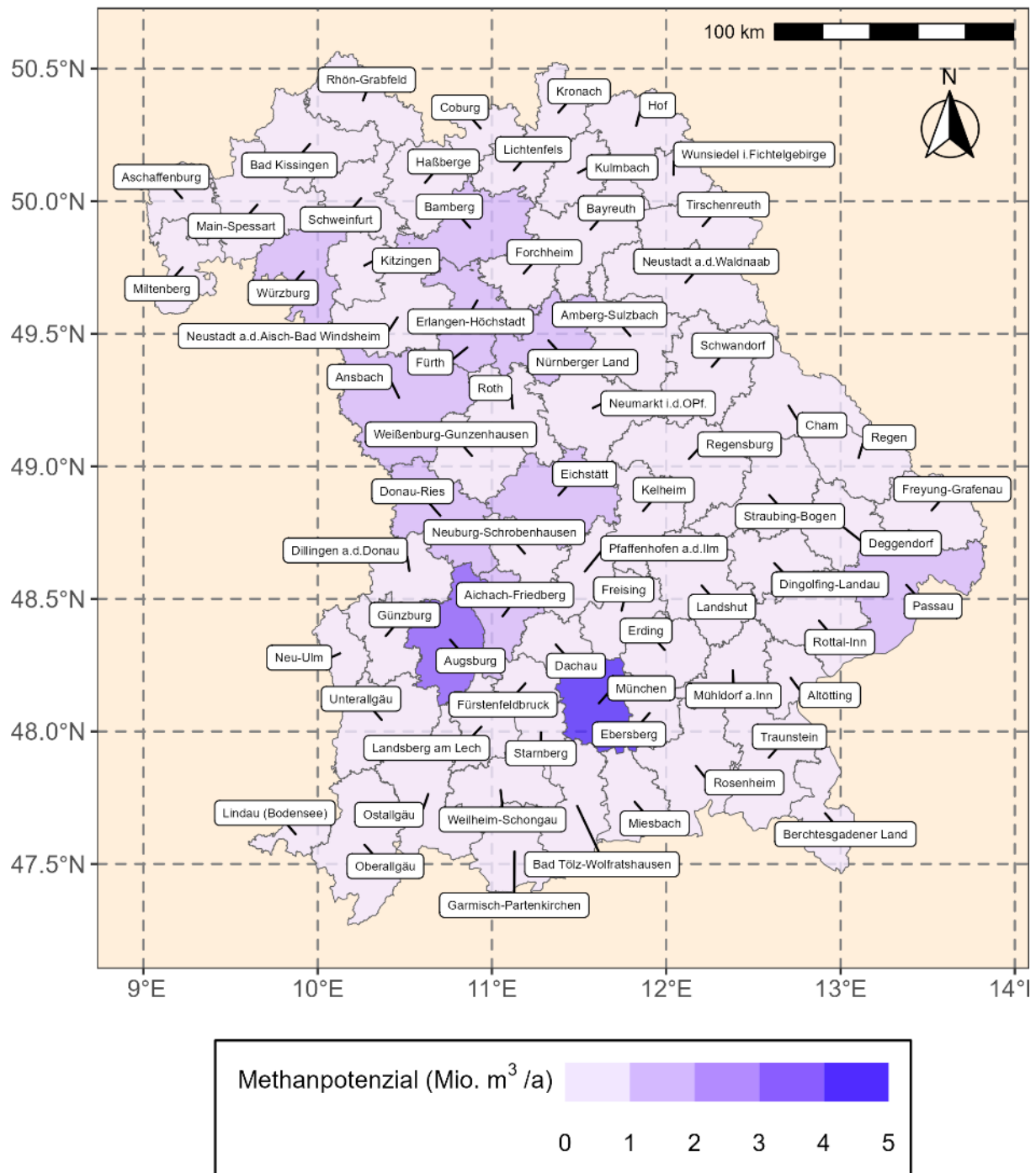


Abbildung 7-13: Technisches Methanpotenzial aus Biogut im Ist-Stand je Landkreis

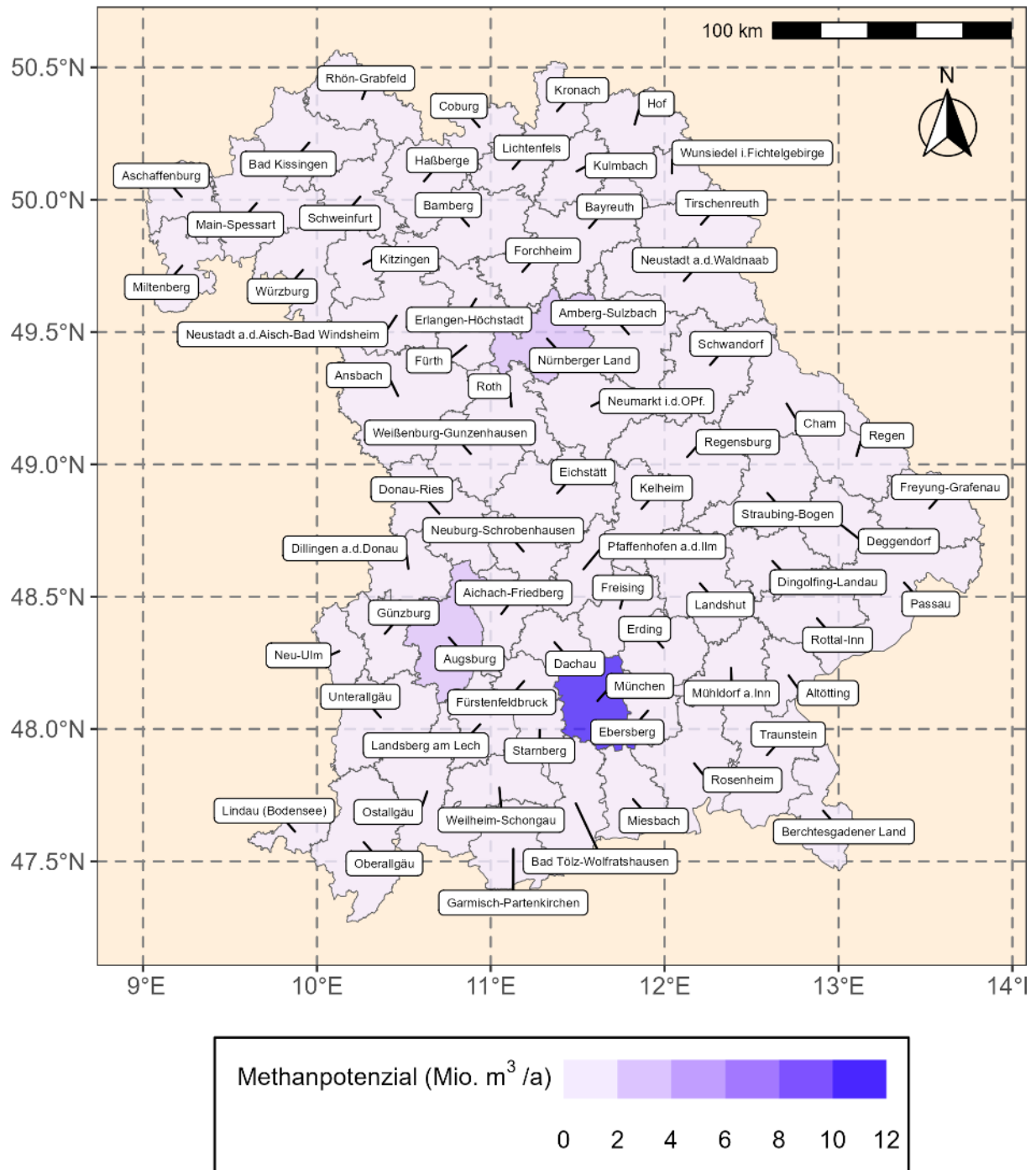


Abbildung 7-14: Technisches Methanpotenzial aus der Organik im Hausmüll im Ist-Stand je Landkreis

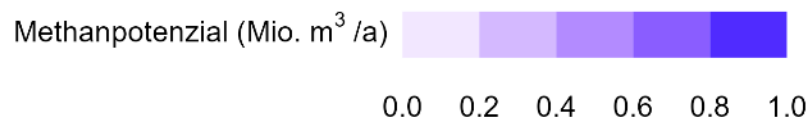


Abbildung 7-15: Technisches Methanpotenzial aus krautigem Grüngut im Ist-Stand je Landkreis

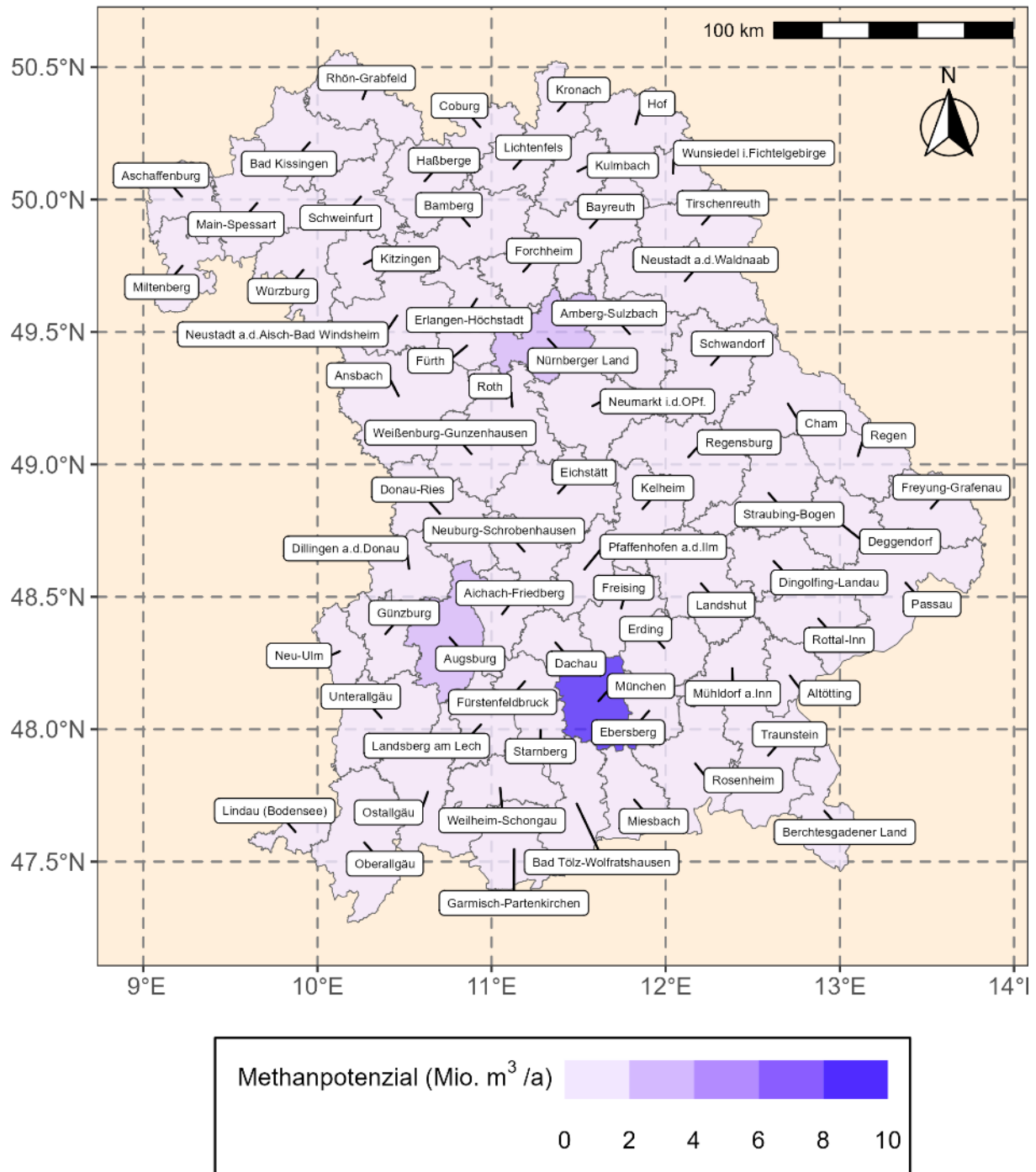


Abbildung 7-16: Technisches Methanpotenzial aus gewerblichen Lebensmittelabfällen im Ist-Stand je Landkreis

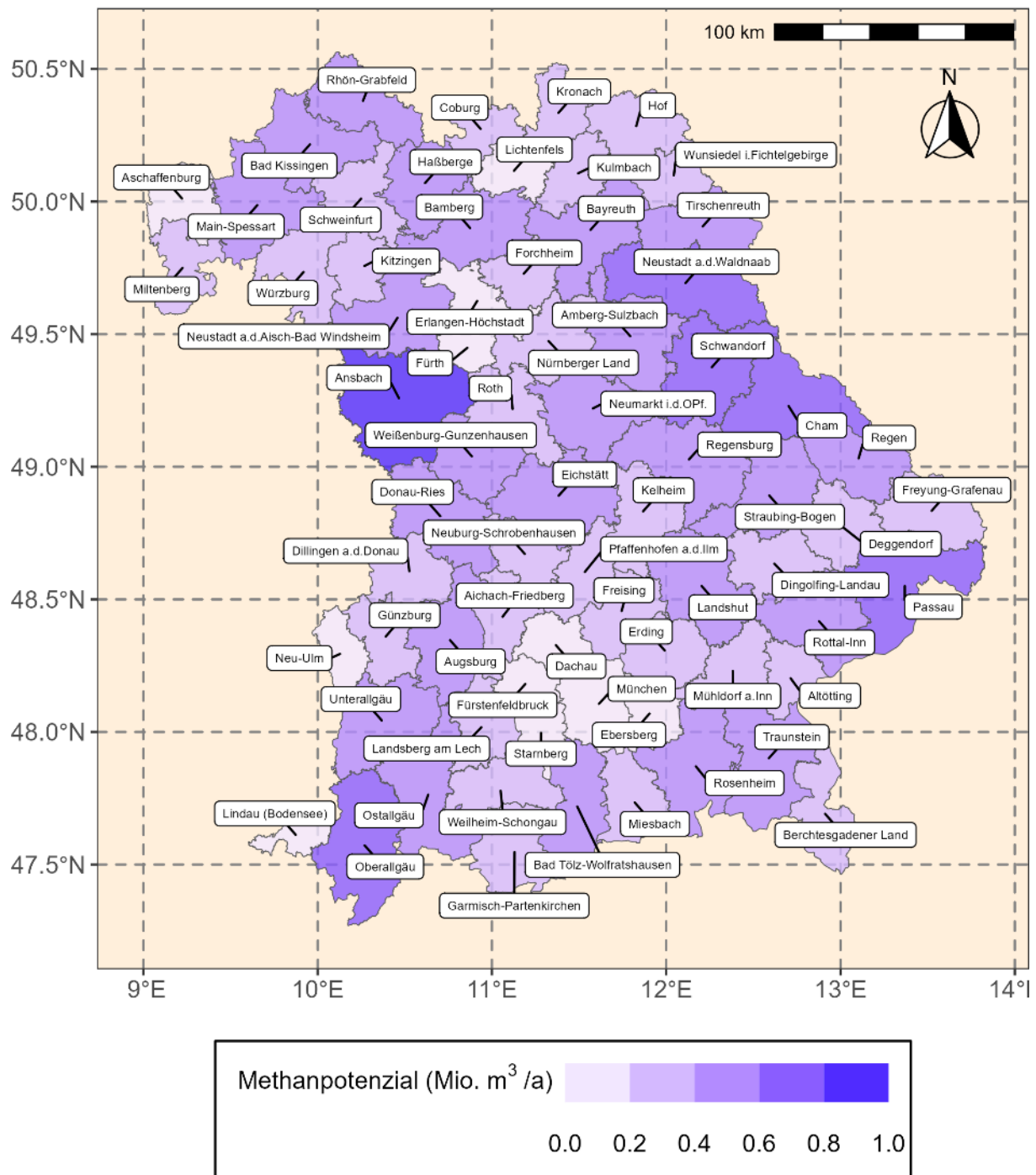


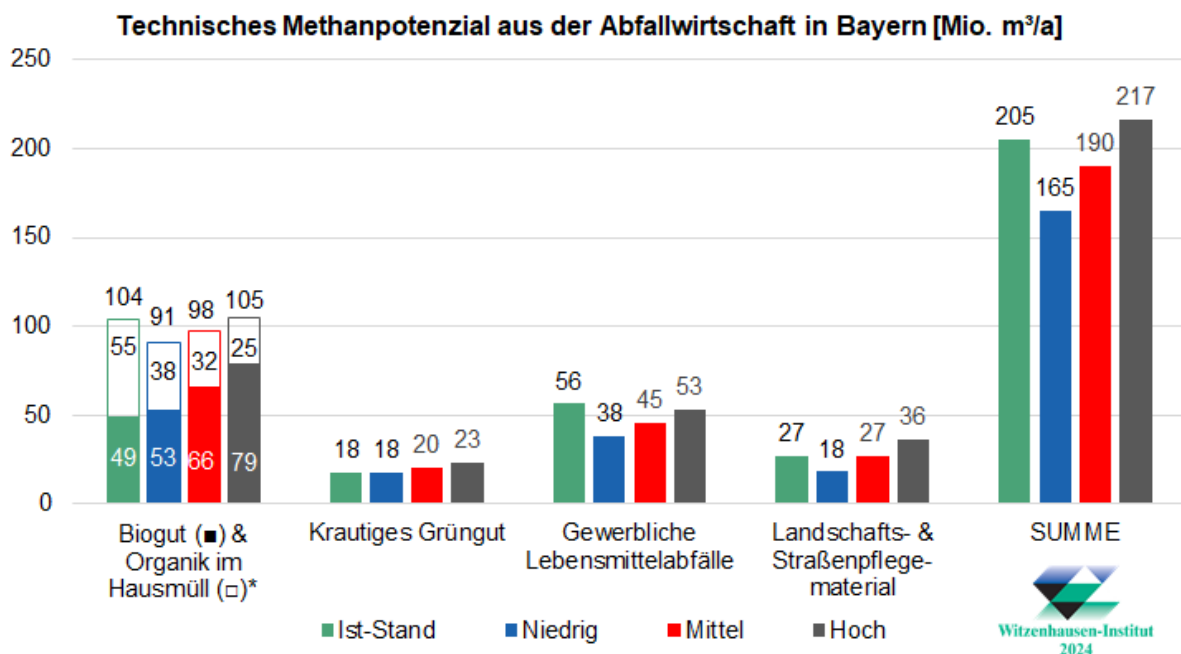
Abbildung 7-17: Technisches Methanpotenzial aus vergärbarem Landschaft- & Straßenpflegematerial im Ist-Stand je Landkreis

7.2.3 Biogaspotenzial aus der Abfallwirtschaft in drei Szenarien

Da die beiden Stoffströme Biogut und Organik im Hausmüll voneinander abhängen, werden sie in der in diesem Bericht gezeigten Ergebnisdarstellung für den Vergleich der Szenarien untereinander und mit dem Ist-Stand als zusammengesetzter Stoffstrom gezeigt. In den Datentabellen mit den Methanpotenzialen jeder einzelnen Kommune sind sie aber als eigenständige Stoffströme aufgeführt.

Die Gesamtsumme der technischen Methanpotenziale aus der Abfallwirtschaft für ganz Bayern ist im niedrigen und im mittleren Szenario im Jahr 2030 mit 165 bzw. 190 Mio. m³/a geringer als zum Ist-Stand im Jahr 2021 (Abbildung 7-18). Dies liegt vor allem an der Reduzierung der Lebensmittelabfälle, die in drei der fünf Stoffströme eine Rolle spielt. Nur im „Hoch“ Szenario kann diese Reduzierung, die dort deutlich geringere Ausmaße annimmt, von den gestiegenen Potenzialen des krautigen Grünguts und des Landschaft- und Straßenpflegematerials überkompensiert werden, sodass es dort mit einer Gesamtsumme von 217 Mio.m³/a zu einer Steigerung gegenüber dem Ist-Stand kommt.

Auch wenn das zusammengesetzte Potenzial aus Biogut und Organik im Hausmüll selbst im Szenario „Hoch“ nur gleichbleibend mit dem Ist-Stand ist (jeweils 104 Mio. m³/a), liegt das Potenzial des Bioguts in allen drei Szenarien durch die Verlagerung von Organik aus dem Hausmüll in das Biogut über dem Ist-Stand und steigt im Szenario „Hoch“ um mehr als 60 % auf 79 Mio. m³/a. Dies ist insofern von Bedeutung, da nur über die Vergärung von Biogut mit anschließender stofflicher Nutzung des Gärprodukts (vorzugsweise nach einer Kompostierung) eine kombinierte energetisch-stoffliche Nutzung mit der höherwertigen stofflichen Verwertungskomponente erfolgen kann.



* ausgefüllter Teil des Balkens = Biogut; nicht ausgefüllter, nur umrandeter Teil des Balkens = Organik im Hausmüll

Abbildung 7-18: Technisches Methanpotenzial aus der Abfallwirtschaft in Bayern in drei Szenarien 2030 im Vergleich zum Ist-Stand 2021

7.3 Genutzte Biogaspotenziale

Wie in Kapitel 6.3 dargestellt befanden sich in Bayern im Jahr 2021, nach dem sogenannten „weiten Anlagenbegriff“, an rund 2.500 Standorten in Bayern Biogasanlagen in Betrieb. Zuzüglich der Biogasaufbereitungsanlagen beträgt die Anzahl etwa 2.530 Standorte und die elektrische Leistung 1,54 GW. Basierend auf den Stamm- und Bewegungsdaten der Übertragungsnetzbetreiber [38, 39] betrug die Stromproduktion Bayerischer Biogasanlagen im Jahr 2021 6,45 Mrd. kWh_{el}. Mit einem analog zur LfL genutzten elektrischen BHKW-Wirkungsgrad von 39,1 % und einem Energiegehalt von 9,97 kWh/m³ Methan [42] ergibt sich hieraus ein genutztes Biogaspotenzial von 1,66 Mrd. m³ ohne, und 1,78 Mrd. m³ mit Berücksichtigung der Biogasaufbereitungsanlagen. Die genutzten Methanpotenziale der einzelnen bayerischen Gemeinden werden in gesonderten Datentabellen ausgewiesen, die als Anlage zu diesem Bericht erstellt wurden. Die zehn Gemeinden mit dem größten genutzten Biogaspotenzial sind in Tabelle 7-9 aufgeführt.

Aufgrund der fehlenden Zuweisung von Anlagentypen in den verwendeten Datenquellen könnte, wie in Kapitel 6.3 erläutert, die gesamte Anzahl an Biogasanlagen bis zu 10 % höher ausfallen.

Tabelle 7-9: Gemeinden mit dem größten genutzten Biogaspotenzial (BGA + BGAA) in Bayern

Gemeinde	AGS	Genutztes Biogaspotenzial (inkl. BGAA) [m ³ CH ₄ /a]
Schwandorf	09376161	14.718.168
Arnschwang	09372112	13.666.407
Fürth	09563000	13.322.542
Dorfen	09177115	12.851.730
Eichendorf	09279113	11.468.458
Schnaitsee	09189142	11.279.093
Schwarzenfeld	09376163	11.250.935
Wertingen	09773182	10.024.506
Au i.d.Hallertau	09178116	9.991.080
Aiterhofen	09278113	9.470.910

Ergänzend zu den Ergebnissen auf Gemeinden je AGS wurden die Methanpotenziale zusätzlich auch auf Ebene der Landkreise berechnet. Analog zur Vorgehensweise im Bereich der landwirtschaftlichen Methanpotenziale erfolgte dabei eine Zuordnung der kreisfreien Städte zu den Landkreisen entsprechend der Tabelle 7-4. Die Ergebnisse auf Landkreisebene sind in Tabelle 7-10 sowie in Abbildung 7-19 dargestellt.

Tabelle 7-10: Genutztes Biogaspotenzial (BGA + BGAA) im Ist-Stand je Landkreis

Landkreis	Genutztes Biogaspotenzial [Mio. m ³]
Aichach-Friedberg	47,72
Altötting	28,80
Amberg-Weizbach	17,88
Ansbach	126,92
Aschaffenburg	4,87
Augsburg	45,78
Bad Kissingen	4,65
Bad Tölz-Wolfratshausen	7,39
Bamberg	20,83
Bayreuth	24,02
Berchtesgadener Land	3,33
Cham	48,43
Coburg	14,70
Dachau	26,86
Deggendorf	12,56
Dillingen a.d. Donau	58,28
Dingolfing-Landau	42,86
Donau-Ries	115,48
Ebersberg	19,25
Eichstätt	11,34
Erding	57,79
Erlangen-Höchstädt	11,07
Forchheim	17,77
Freising	17,11
Freyung-Grafenau	7,27
Fürstenfeldbruck	11,41
Fürth	22,02
Garmisch-Partenkirchen	3,75
Günzburg	31,71
Haßberge	17,31
Hof	23,41
Kelheim	31,16
Kitzingen	10,79
Kronach	2,97
Kulmbach	3,36
Landsberg am Lech	19,98
Landshut	45,33

Landkreis	Genutztes Biogaspotenzial [Mio. m ³]
Lichtenfels	7,23
Lindau (Bodensee)	1,42
Main-Spessart	6,30
Miesbach	1,32
Miltenberg	3,63
Mühlendorf a. Inn	30,91
München	5,68
Neuburg-Schrobenhausen	14,55
Neumarkt i.d. OPf.	28,98
Neustadt a.d. Aisch-Bad Windsheim	44,97
Neustadt a.d. Waldnaab	26,90
Neu-Ulm	21,23
Nürnberger Land	2,27
Oberallgäu	9,05
Ostallgäu	38,80
Passau	27,17
Pfaffenhofen a.d. Ilm	20,59
Regen	3,72
Regensburg	13,56
Rhön-Grabfeld	17,67
Rosenheim	39,75
Roth	9,45
Rottal-Inn	61,78
Schwandorf	52,92
Schweinfurt	14,57
Starnberg	1,38
Straubing-Bogen	26,75
Tirschenreuth	33,54
Traunstein	46,82
Unterallgäu	50,83
Weilheim-Schongau	14,50
Weißenburg-Gunzenhausen	54,32
Wunsiedel i. Fichtelgebirge	14,02
Würzburg	25,90

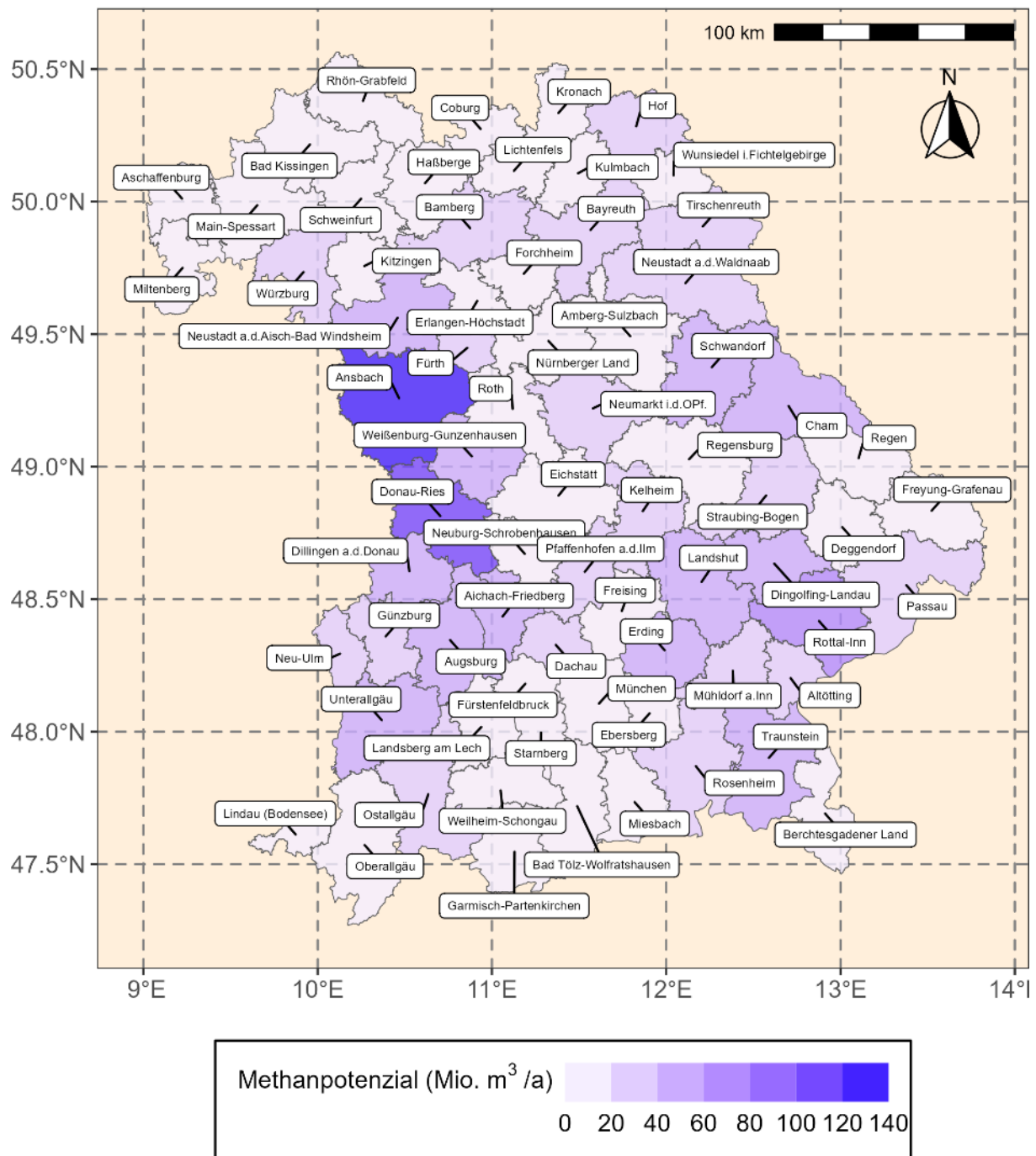


Abbildung 7-19: Genutztes Methanpotenzial auf Landkreisebene

Zur besseren Vergleichbarkeit der ermittelten Daten mit anderen Quellen werden in Abbildung 7-20-Abbildung 7-23 der Ist-Zustand und die drei Szenarien jeweils in Diagrammen für ganz Bayern dargestellt.

Ausgewiesen sind hier:

- Methanpotenzial [m^3/a]
- Elektrische Jahresarbeit [$\text{TWh}_{\text{el}}/\text{a}$]
- Anzahl der BGA und BGAA
- Installierte el. Leistung [GW_{el}]

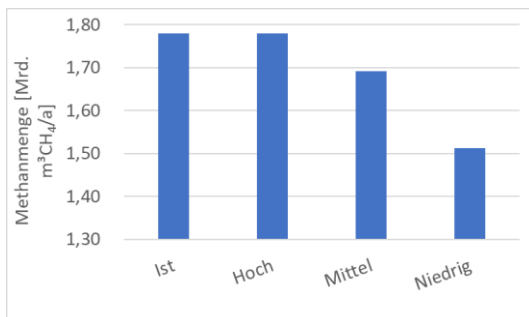


Abbildung 7-20: Jährliches genutztes Methanpotenzial aus BGA und BGAA in Bayern in den unterschiedlichen Szenarien

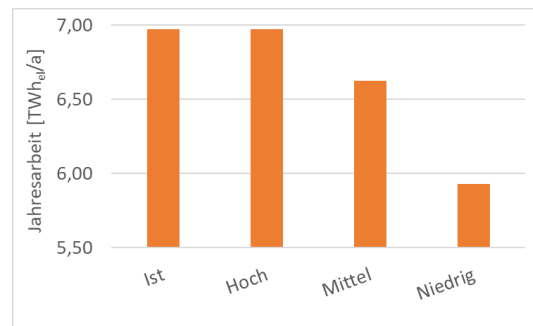


Abbildung 7-21: Jahresarbeit aus BGA und BGAA in Bayern in den unterschiedlichen Szenarien

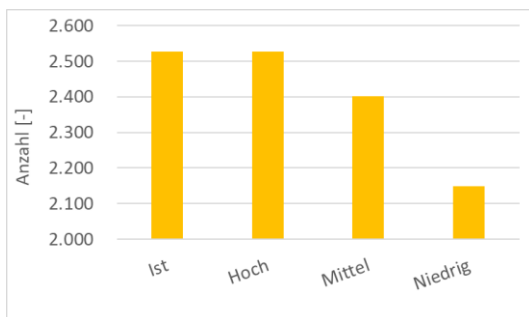


Abbildung 7-22: Anzahl der BGA und BGAA in Bayern in den unterschiedlichen Szenarien

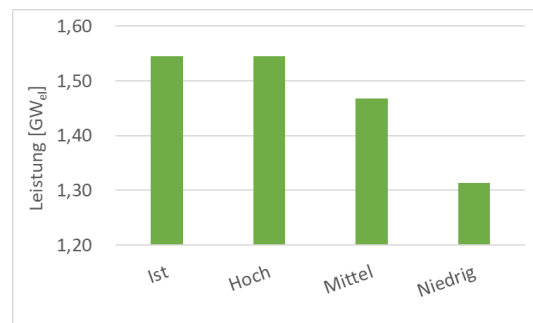


Abbildung 7-23: Installierte elektrische BGA-Leistung (inkl. BGAA) in den unterschiedlichen Szenarien

7.4 Zusammenführung und Diskussion der Ergebnisse

Aktuell werden in Bayern etwa 1.689 Mio. m³ Methan aus landwirtschaftlichen und 84 Mio m³ aus abfallwirtschaftlichen Substraten gewonnen und genutzt (Summe 1.773 Mio. m³).

Es stünde aber heute ein technisches Potenzial von 3.231 Mio. m³ zur Verfügung, d.h. 1.460 Mio. m³ werden derzeit nicht genutzt.

Auf Grundlage der aus den verfügbaren Daten zur Flächennutzung und zur Tierhaltung ermittelten Massenpotenziale lässt sich schlussfolgern, dass die Produktion von Biogas aus landwirtschaftlichen Substraten im Ist-Stand um etwa 80 % gesteigert werden kann. Für diese Steigerung ist eine Ausdehnung des Anbaus von NawaRo **nicht** erforderlich.

Zur einer solchen, möglichen Steigerung tragen im Wesentlichen Wirtschaftsdünger und Nebenprodukte mit einem ungenutzten Potenzial von 636 Mio. m³ Methan bzw. 581 Mio. m³ Methan bei (vergleiche Kapitel 7.1.2). Zusätzlich könnten durch bisher ungenutzte, unbeschränkte Biomasse weitere 120 Mio. m³ Methan erzeugt werden, sodass insgesamt ein technisches Methanpotenzial von 3.026 Mio. m³ aus landwirtschaftlichen Substraten zur Verfügung stehen würde.

Im Bereich der Abfallwirtschaft wird heute sogar nur ca. 40% des technisch verfügbaren Potenzials tatsächlich genutzt (205 Mio. m³ verfügbar, 84 Mio. m³ genutzt).

Bei Betrachtung der aktuellen Nutzung von Biogas zeigt sich, dass diese zu etwa 95 % überwiegend aus Substraten der Landwirtschaft hervorgeht. Die Biogasbereitstellung aus der Abfallwirtschaft hat demgegenüber eine untergeordnete Bedeutung.

Tabelle 7-11: Technisches Biogaspotenzial in Bayern

Technisches Methanpotenzial [Mio. m ³]				
	Ist-Stand	Szenario Niedrig	Szenario Mittel	Szenario Hoch
Landwirtschaft (davon genutzt 2021)	3.026 (1.689)	2.845	3.055	3.418
Abfallwirtschaft (davon genutzt 2021)	205 (84)	165	190	217
Genutztes Potenzial (Ist-Stand), freiwerdendes* Potenzial (Szenarien)	1.773	0	83	260

*freiwerdendes Potenzial aus erwartetem Rückgang des Biogasanlagenbestandes aufgrund der auslaufenden EEG-Förderungen (2022-2026) vgl. Abb. 7-20 (reziproke Zuordnung)

Wie oben beschrieben, ergibt sich ein hohes, noch ungenutztes Biogaspotenzial. Es beschränkt sich im Bereich der Landwirtschaft überwiegend auf Wirtschaftsdünger, Nebenprodukte und die oben beschriebenen abfallwirtschaftlichen Stoffströme. Es steht damit nicht im Widerspruch zu umweltfachlichen Anforderungen.

Die Ausweitung des Potenzials an vergärbaren Abfallströmen steht im Zielkonflikt mit den abfallwirtschaftlichen Zielen und Vorgaben, die eine Reduzierung des organischen

Abfallaufkommens beinhalten. Insbesondere eine Reduzierung der Lebensmittelabfälle sowie die Abfallvermeidung stehen im Vordergrund. Zudem bestehen Nutzungskonkurrenzen z.B. zur Herstellung von Komposten.

Die derzeitigen Rahmenbedingungen z.B. die auslaufenden EEG-Förderungen (2022 - 2026) (vgl. Kapitel 7-3) gehen von einem leichten Rückgang der Biogasnutzung für die Verstromung aus.

Dies eröffnet einen großen Spielraum für verschiedenste Nutzungskonzepte auch außerhalb der Verstromung wie z.B. für Kraftstoffe, Wasserstoffderivate oder industrielle Prozesse (energetisch und stofflich).

Ob und wozu das Potenzial mittelfristig dennoch erschlossen werden wird bzw. welcher Anteil des technischen Potenzials umsetzbar sein wird, hängt somit von einer Vielzahl von Faktoren ab.

Eine weitere Betrachtung zum wirtschaftlichen und umsetzbaren Potenzial ist nicht Inhalt dieser Studie.

Die nachfolgende Abbildung 8-1 zeigt beispielgebend einen Screenshot mit dem Tabellenblatt der Gesamtmethanmenge für den Ist-Zustand des Basisjahres 2021.

Abbildung 8-1: Screenshot des Tabellenblattes zur Gesamtmethanmenge im Ist-Zustand des Basisjahres

9 Ausblick

Mit dem Projekt „Biogaspotenzial Bayern“ wurde die Datenbasis für den „Energieatlas Bayern“ sowie das dort verfügbare „Mischpult“ grundsätzlich überarbeitet und anhand von Szenarien die Möglichkeit gegeben, diese Daten gemäß künftigen Entwicklungen so anzupassen, dass dem Nutzer eine möglichst gute Grundlage vorliegt, um hieraus eigene Planungen vorzunehmen. Mit den hierzu dem Auftraggeber überreichten Tabellenwerken sowie der Dokumentation ist dieser Auftrag abgeschlossen.

Die große Zahl möglicher Einflüsse, aber auch die Bandbreite ihrer Auswirkungen auf die Potenziale macht es aber erforderlich, die Entwicklungen genau zu beobachten und nachzusteuern.

Eine wesentliche Erkenntnis bei der Projektbearbeitung ist, dass trotz umfangreichem Wandel in der Land- und Abfallwirtschaft in Bayern auch unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien eher ein größeres Biogaspotenzial vorhanden ist als derzeit angenommen wurde. Die hier vorliegenden Daten sind eine ausgezeichnete Basis zur Erstellung von Potenzialkarten, anhand derer sich recht schnell ein Überblick darüber verschaffen lässt, in welchen Regionen des Bayerns es besonders lohnend sein könnte, bisher ungenutzte Potenziale noch zu heben.

Hierzu kann man aus den vorliegenden Daten zu den verfügbaren Biomassepotenzialen und den genutzten Potenzialen beispielsweise die Differenz bilden und erhält dadurch ein „freies Potenzial“.

Dies ist in Abbildung 9-1 für den Ist-Zustand dargestellt. Wie bereits in Kapitel 6.3.3 erwähnt, ist dies für die Szenarien nicht möglich, da sich theoretisch 27 Kombinationen ergeben.

Mit einer solchen Betrachtung des Ist-Zustandes könnte man in den betroffenen Landkreisen gezielt Kommunen ansprechen und so die Nutzung von Bioenergie unterstützen.

Aufgrund der Unsicherheit in der gemeindescharfen Zuordnung insbesondere bei den Potenzialen im Kontext Biomethan, aber auch teilweise aus Abfall, sollten diese Analysen für besonders geeignet erscheinende Kommunen unbedingt unter Nutzung lokaler (kommunaler) Informationen verifiziert werden. Mit dieser Vorgehensweise würden sich die Bemühungen um eine Steigerung der nachhaltigen Biomassenutzung bündeln lassen und damit effizienter werden, wobei gleichzeitig die lokalen Belange des Naturschutzes im Detail berücksichtigt werden könnten.

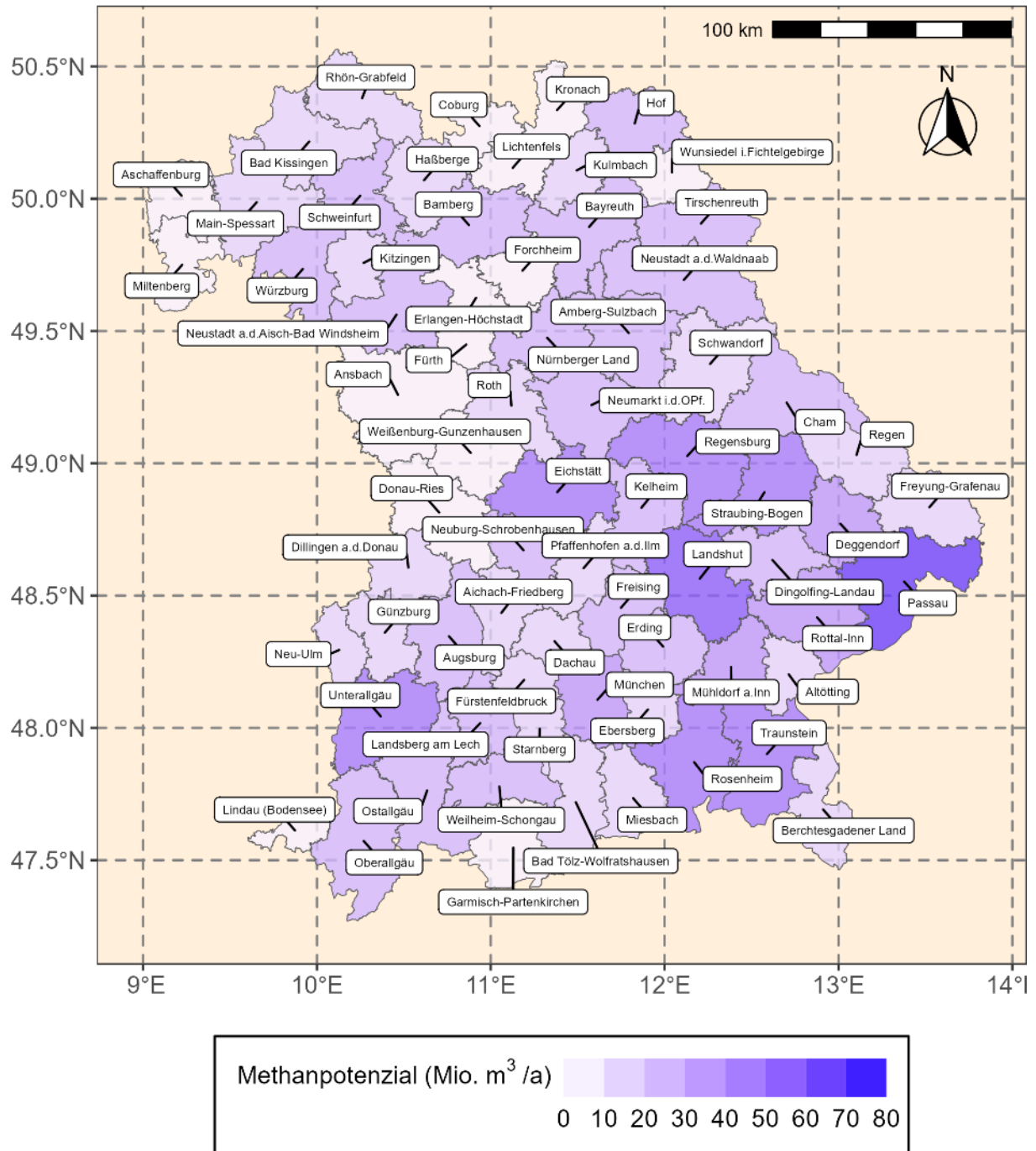


Abbildung 9-1: Freies Methanpotenzial im Ist-Zustand

10 Literaturverzeichnis

- [1] KALTSCHMITT, Martin ; HARTMANN, Hans: *Energie aus Biomasse : Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg; Imprint; Springer, 2001
- [2] RAUH, Stefan: *Konkurrenz um Biomasse - Entwicklung eines Landnutzungsmodells zur Ableitung möglicher zukünftiger Entwicklungen in der Landwirtschaft hinsichtlich der Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Energiebiomasse*. München, Technische Universität München. 2010
- [3] THRÄN, Daniela ; PFEIFFER, Diana: *Methodenhandbuch* : Begleitvorhaben Förderbereich "Energetische Biomassenutzung" (DBFZ), 2021
- [4] SIDDIQUI, Saifuddin ; ZERHUSEN, Bianca ; ZEHETMEIER, Monika ; EFFENBERGER, Mathias: *Distribution of specific greenhouse gas emissions from combined heat-and-power production in agricultural biogas plants*. In: *Biomass and Bioenergy* 133 (2020), Nr. 5, S. 105443
- [5] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ (BMWK) (Hrsg.); BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (Hrsg.); BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMUV) (Hrsg.): *Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS)*. 28.09.2022
- [6] WIESMEIER, Martin ; POEPLAU, Christopher ; SIERRA, Carlos A. ; MAIER, Harald ; FRÜHAUF, Cathleen ; HÜBNER, Rico ; KÜHNEL, Anna ; SPÖRLEIN, Peter ; GEUß, Uwe ; HANGEN, Edzard ; SCHILLING, Bernd ; LÜTZOW, Margit von ; KÖGEL-KNABNER, Ingrid: *Projected loss of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends*. In: *Scientific Reports* 6 (2016), Nr. 32525. URL <https://www.nature.com/articles/srep32525>
- [7] MÖLLER, Kurt: *Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review*. In: *Agronomy for Sustainable Development* 35 (2015), Nr. 3, S. 1021–1041. URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-015-0284-3>
- [8] DEUTSCHE ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER: *Informationsplattform der Übertragungsnetzbetreiber : EEG*. EEG-Jahresabrechnungen und EEG-Anlagenstammdaten. URL <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen> – Überprüfungsdatum 2023-07-30
- [9] DANDIKAS, Vasilis ; HERRMANN, Christiane ; JACOBI, Fabian ; MEIßAUER, Gabriele ; MERRETTIG-BRUNS, Ute ; OECHSNER, Hans ; PATERSON, Mark ; REINHOLD, Gerd ; ROTH, Ursula ; BISCHOFF, Manfred (Mitarb.); DILLS, Yvonne (Mitarb.); HENGELHAUPT, Frank (Mitarb.); HÜLSEMAN, Benedikt (Mitarb.); KRAKAT, Niclas (Mitarb.); LOEWE, Kirsten (Mitarb.); PRÖTER, Jürgen (Mitarb.); OHL, Susanne (Mitarb.); WEINRICH, Sören (Mitarb.) : *Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen : Potenziale, Erträge, Einflussfaktoren*. 1. Aufl. Darmstadt, 2021 (KTBL-Schrift 526)
- [10] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT: *Futterberechnung für Schweine*. 27. Aufl. Freising, August 2022 (LfL-Information)
- [11] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT: *Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland : Gelbes Heft*. 15. Aufl. Freising, August 2022 (LfL-Information)

- [12] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK: *Landwirtschaftszählung 2020*. URL <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=&levelid=&code=41141&option=variable#abreadcrumb>
- [13] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK: *Viehbestände der landwirtschaftlichen Betriebe - Stichprobenerhebung 2013*. URL https://www.statistik.bayern.de/statistik/wirtschaft_handel/landwirtschaft/index.html#link_4
- [14] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK: *Viehbestände der landwirtschaftlichen Betriebe - Totalerhebung 2010*. URL https://www.statistik.bayern.de/statistik/wirtschaft_handel/landwirtschaft/index.html#link_4
- [15] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK: *Viehbestände der landwirtschaftlichen Betriebe - Totalerhebung 2016*. URL https://www.statistik.bayern.de/statistik/wirtschaft_handel/landwirtschaft/index.html#link_4
- [16] BENSMANN, Martin: *Wildpflanzenfelder sind Biotope in der Agrarlandschaft*. In: *Biogas Journal* 20 (2018), Nr. 3, S. 46–48 – Überprüfungsdatum 2023-07-14
- [17] EBERL, Veronika ; FRITZ, Maendy: *Bioenergieträger mit Blühaspekt : Leguminosen-Getreide-Gemenge*. In: *Berichte aus dem TFZ* (2017), Nr. 53
- [18] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT: *Basisdaten für die Umsetzung der Düngeverordnung, für die Beratung und Planung zur Berechnung des Düngedarfs, des Nährstoffanfalls im Betrieb, des Lagerraums für organische Dünger, der Stoffstrombilanz*. 2022
- [19] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK: *Ernte-, Betriebsberichterstattung: Feldfrüchte und Grünland*. URL https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?language=de&sequenz=tabellen&selectonname=41241*#abreadcrumb
- [20] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: *Hausmüll in Bayern – Bilanzen 2021*. Augsburg, 2022
- [21] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Lebensmittelabfälle in Deutschland*. URL <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Tabellen/lebensmittelabfaelle.html> – Überprüfungsdatum 2024-01-25
- [22] STOCKMANN, F. ; LETALIK, Ch. ; SCHAFFNER, S. ; SUTNER, G. ; HOFMANN, D. ; KUNTSCHE, T. ; THURNER, S. ; PORTNER, J. ; BURGER, T.: *Biogassubstrat - Reststoffe und Koppelprodukte, bif19*. In: *Biogas Forum Bayern*.
- [23] SCHÖTTNER, R.: *Flächen im Vertragsnaturschutzprogramm (VNP)*. 2023. RICHTER, Felix; KERN, Michael (Adressat)
- [24] DITTMER, L.: *Straßenmähgut in Biogasanlagen – Offene Potenziale nutzen?*, 5 2023. In: *Biogas Journal* 5 2023, S. 108–114
- [25] DORNBUSCH, H.-J. ; HANNES, L. ; SANTJER, M. ; BÖHM, C. ; WÜST, S. ; ZWIESELE, B. ; KERN, M. ; SIEPENKOTHEN, H.-J. ; KANTHAK, M.: *Vergleichende Analyse von Siedlungsrestabfällen aus repräsentativen Regionen in Deutschland zur Bestimmung des Anteils an Problemstoffen und verwertbaren Materialien : TEXTE 113/2020*. Dessau-Roßlau, 2020

- [26] KERN, M. ; TURK, T. ; RAUSSEN, T. ; KRUSE, S. ; HÜTTNER, A. ; KNAPPE, F. ; REINHARD, J.: *Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand : TEXTE 49/2019*. Dessau-Roßlau, 2019
- [27] LETALIK, C. ; HOFMANN, D. ; EBERTSEDER, F. ; NIEDERMEIR-STÜRZER, H. ; MENZEL, N. ; THOSS, C. ; KOCH-STEINDL, H. ; GRANTNER, T.: Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial in Biogasanlagen, 26/2021. In: *Biogas Forum Bayern*.
- [28] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V.: *KTBL-Biogasrechner*. URL <https://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do?zustandReq=1&selectedAction=showMona#start> – Überprüfungsdatum 2024-01-25
- [29] RICHTER, F. ; HÜTTNER, A. ; SPRICK, W. ; TURK, T.: GreenSelect – Konservierung (Silierung) von krautigem Grüngut zur zeitversetzten Verwertung in Biogutvergärungsanlagen, 11/2022. In: *Müll und Abfall*, S. 626–634
- [30] MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, ENERGIE UND MOBILITÄT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.): *Abfallwirtschaftsplan Rheinland-Pfalz 2022 : Teilplan Siedlungsabfälle und andere nicht gefährliche Abfälle*. Mainz, November 2022
- [31] RICHTER, Felix ; RAUSSEN, Thomas: Optimierung der Erfassung, Aufbereitung und stofflich-energetischen Verwertung von Grüngut in Deutschland, 03/2018. In: *Müll und Abfall*, S. 104–111
- [32] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): *Zielvereinbarung zur Reduzierung von Lebensmittelabfällen in der Außer-Haus-Verpflegung : zwischen dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und Verbänden der Gastronomie und der Hotellerie*. Berlin, 22.04.2021
- [33] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): *Pakt gegen Lebensmittelverschwendung*
- [34] SCHMIDT, T. ; SCHNEIDER, F. ; LEVERENZ, D. ; HAFNER, G.: *Lebensmittelabfälle in Deutschland - Baseline 2015 : Thünen Report 71*. Braunschweig, 2019
- [35] KLEIN, Carmen ; ROZANSKI, Kostja ; GAILFUß, Markus ; KUKUK, Jürgen ; BECK, Thomas: *BHKW-Kenndaten 2014/2015 : Module, Anbieter, Kosten*. Oktober 2014
- [36] *Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) –* Überprüfungsdatum 2023-12-21
- [37] BGH: *Zum Anlagenbegriff bei Biogasanlagen*. URL <https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/rechtsprechung/2363>. – Aktualisierungsdatum: 2023-12-22 – Überprüfungsdatum 2023-12-22
- [38] NETZTRANSPARENZ: *EEG-Anlagenstammdaten zur Jahresabrechnung 2021*. URL <https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten> – Überprüfungsdatum 2022-07-29
- [39] NETZTRANSPARENZ: *Bewegungsdaten der Übertragungsnetzbetreiber 2021* – Überprüfungsdatum 2022-07-29
- [40] HOFFSTEDE, Uwe: *Biogaspotenzial Bayern - Workshop*. Augsburg, 31.03.2023

- [41] ASCHMANN, V. ; EFFENBERGER, M. ; GRAF, J. ; HALAMA, M. ; KEYMER, U. ; STROBL, M. ; WINKLER, J.: *Bayernplan: Einsatz von Biogas zum Ersatz von Gaskraftwerken*. In: *Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft* (2012), Nr. 7
- [42] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.: *Faustzahlen*. URL <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>. – Aktualisierungsdatum: 2024-01-29 – Überprüfungsdatum 2024-01-29