



U



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

Methodendokumentation 2023

Treibhausgasemissionen in Sachsen-Anhalt

Impressum

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)
Dezernat Klima, Erneuerbare Energie, Nachhaltigkeit, Umweltallianz
Ansprechperson: Dr. Christoph Strauß
Reideburger Straße 47
06116 Halle
Tel.: +49 345 5704 0
E-Mail: poststelle@lau.mwu.sachsen-anhalt.de
Internet: <https://lau.sachsen-anhalt.de>

Foto: Gabriele Heinicke

Stand: Juni 2023

Inhalt

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung | 6 |
| 2 | Übergreifende methodische Hinweise | 7 |
| 3 | Methodische Beschreibungen zu den einzelnen Kategorien | 10 |
| 3.1 | Energiebedingte Emissionen von Energiewirtschaft und verarbeitendem Gewerbe (CRF-Sektor 1 A 1-2/ B) | 10 |
| 3.1.1 | Emissionsquellen und verwendete Daten | 10 |
| 3.1.2 | Datenqualität und jüngere Neuerungen | 12 |
| 3.2 | Energiebedingte Emissionen des Verkehrs und von Gebäuden und sonstigen Feuerungsanlagen (CRF-Sektor 1 A 3-5) | 13 |
| 3.2.1 | Emissionsquellen und verwendete Daten | 13 |
| 3.2.2 | Datenqualität und jüngere Neuerungen | 15 |
| 3.3 | Industrieprozesse und Produktanwendung (CRF-Sektor 2) | 15 |
| 3.3.1 | Emissionsquellen und verwendete Daten | 15 |
| 3.3.2 | Datenqualität und jüngere Neuerungen | 22 |
| 3.4 | Landwirtschaft (CRF Sektor 3) | 22 |
| 3.4.1 | Emissionsquellen und verwendete Daten | 22 |
| 3.4.2 | Einordnung und jüngere Neuerungen | 25 |
| 3.5 | Abfall- und Abwasserwirtschaft (CRF-Sektor 5) | 26 |
| 3.5.1 | Emissionsquellen und verwendete Daten | 27 |
| 3.5.2 | Datenqualität und jüngere Neuerungen | 29 |
| 4 | Literaturverzeichnis | 29 |
| | Anhang 1: Vorgenommene vereinfachte Strukturierung des verarbeitenden Gewerbes | 32 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------|---|
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| BIP | Bruttoinlandsprodukt |
| BWS | Bruttowertschöpfung |
| CH ₄ | Methan |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid, Kohlendioxid |
| CO ₂ e | Kohlenstoffdioxid-Äquivalent(e) |
| CRF | Common Reporting Format |
| DDR | Deutsche Demokratische Republik |
| DEHSt | Deutsche Emissionshandelsstelle |
| DESTATIS | Statistisches Bundesamt |
| EE | Erneuerbare Energien |
| EW | Einwohner |
| F-Gase | Fluorierte Treibhausgase. Zu diesen Gasen gehören vollhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), die teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), Schwefelhexafluorid (SF ₆) und Stickstofftrifluorid (NF ₃). |
| FWL | Feuerungswärmeleistung |
| Fzkm | Fahrzeugkilometer |
| GHD | Gewerbe, Handel und Dienstleistungen |
| GWP-Faktor | Global Warming Potential-Faktor (auch: greenhouse warming potential, dient der Umrechnung von unterschiedlichen Treibhausgasen auf einen einheitlichen Wert an CO ₂ e) |
| IKT | Informations- und Kommunikationstechnologie |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| KEK | Klima- und Energiekonzept des Landes Sachsen-Anhalt von 2019 |
| KSK | Klimaschutzkonzept des Landes Sachsen-Anhalt von 2008 |
| kt | Kilotonne (1000 t) |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| LAK | Länderarbeitskreis Energiebilanzen |
| LULUCF | Land Use, Land Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) |
| MBA | Mechanisch-biologische Abfallbehandlung |
| Mio. | Millionen |
| MWp | Megawatt (peak) |
| N ₂ O | Distickstoffoxid, Lachgas |
| NIR | Nationaler Inventarbericht |
| NMVOG | Non-Methane Volatile Organic Compounds (flüchtige Nicht-Methan Kohlenwasserstoffe) |
| NOx | Stickstoffoxide |
| ODS | Ozone Depleting Substances (ozonabbauende Substanzen) |

| | |
|-------|--|
| ORC | Organic Rankine Cycle (Verfahren für den Betrieb von Dampfturbinen mit organischen Medien mit anderen Verdampfungstemperaturen als Wasser) |
| PJ | Petajoule |
| PRTR | Pollutant Release and Transfer Register – nationale bzw. internationale Datenbank zur Freisetzung von Schadstoffemissionen |
| ST | Sachsen-Anhalt |
| THG | Treibhausgas |
| TJ | Terajoule |
| UBA | Umweltbundesamt |
| UGRdL | (Arbeitskreis) Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder |

1 Einleitung

Der menschengemachte Klimawandel ist das größte Umweltproblem der Gegenwart. Nach den historischen globalen Vereinbarungen in Kyoto und Paris hat sich die Weltgemeinschaft zum Ziel gesetzt, die Erwärmung zu begrenzen. In Deutschland werden die Transformationspfade zur Minderung der Treibhausgase durch das im Jahr 2021 novellierte Bundes-Klimaschutzgesetz vorgegeben. Für das Jahr 2040 gilt entsprechend eine Treibhausgasreduzierung von 88 % gegenüber dem Basisjahr 1990, für das Jahr 2045 die Treibhausgasneutralität, danach sollen der Atmosphäre aktiv Treibhausgase entzogen werden. Bund und Länder arbeiten zusammen, um die Ziele des Gesetzes zu erreichen. Die Landesregierung strebt an, als Beitrag zur Erreichung der bundesweiten Klimaschutzziele in der laufenden Legislatur den Ausstoß von Treibhausgasen in Sachsen-Anhalt um 5,65 Mio. t CO₂-Äquivalente zu reduzieren.

Zusätzlich zu den Fachinformationen zu bundesweiten Entwicklungen, die entsprechend der internationalen, europäischen und nationalen Vorgaben im regelmäßigen Turnus berichtet werden, ist es daher erforderlich, die Entwicklungen in Sachsen-Anhalt zu beschreiben und möglichst frühzeitig Fachinformation zu Treibhausgasemissionen zur Verfügung zu stellen.

Das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU) gibt jährlich Auskunft über die Entwicklung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Land Sachsen-Anhalt. Der Bericht baut auf den Informationen des Statistischen Landesamtes auf. Mit einer Auswertung zusätzlicher Quellen, die mit geringem Zeitverzug vorliegen, wird zudem die Tendenz der Emissionsentwicklung eingeschätzt. Diese Schätzdaten haben eine geringere Sicherheit als die Daten der amtlichen Statistik, geben aber einen vorläufigen Einblick in jüngere Entwicklungen.

Der Bericht beschreibt die Situation der Treibhausgasemissionen in Sachsen-Anhalt nach Quellenbilanzsystematik jeweils für das Jahr, für welche das Statistische Landesamt Daten vorlegt (üblicherweise mit einem Zeitverzug von zwei Jahren) und ergänzt Schätzungen und Interpretationen (üblicherweise für die zwei fehlenden, zurückliegenden Jahre)

Es ist geplant, den Bericht in regelmäßigen Abständen fortzuschreiben, um damit eine Bezugsbasis für die Einschätzung der Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen zu schaffen.

Die Gliederung erfolgt auf Basis der Sektorengliederung der international standardisierten Emissionsberichterstattung. Nach wie vor sind für Sachsen-Anhalt keine vollständigen Informationen zum Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft“ (LULUCF) enthalten, welcher im Nachgang des im Jahr 2021 novellierten Bundes-Klimaschutzgesetzes eine maßgeblichere Funktion auf dem Weg zur Klimaneutralität einnehmen soll. Eine Ergänzung von Informationen ist geplant.

2 Übergreifende methodische Hinweise

Bei der Bilanzierung der Treibhausgase erfolgt eine Anlehnung an den nationalen Inventarbericht [2] und demzufolge eine methodische Orientierung an den Bilanzierungsregeln der internationalen Klimaberichterstattung. Die Erstellung der Quellenbilanz orientiert sich am Territorialprinzip (d. h. es werden die Emissionsquellen von Treibhausgasen innerhalb der Landesgrenzen berücksichtigt) und an der spezifischen sektoralen Gliederung, dem Common Reporting Format (CRF, vgl. Tabelle 1).

Zur Ermittlung von Werten wurden zunächst sämtliche vorliegenden Datenquellen für die Quellenbilanz zusammengestellt. In den wenigen Fällen, in denen keine Daten vorlagen, wurden diese auf Basis des nationalen Inventarberichtes abgeschätzt.

Berichtet werden Emissionen von CO₂, CH₄, N₂O und von fluorhaltigen Treibhausgasen (F-Gase). Zur Summenbildung und für Gesamtaussagen wurde die jeweils unterschiedliche Wirkintensität der Treibhausgase berücksichtigt. Im Jahr 2023 werden – in Übereinstimmung mit der bundesweiten Berichterstattung – die Werte erstmals an die Faktoren des Assessment Report 5 des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) angepasst (AR 5).¹ Die Darstellung im Bericht erfolgt daher durchgehend in CO₂-Äquivalenten (CO₂e).

Tabelle 1: Verwendete Sektorengliederung der Emissionsberichterstattung (entspricht der CRF-Gliederung) [2].

| Sektor | Bezeichnung |
|--------|--|
| 1 | Energie |
| 1 A | Verbrennung von Brennstoffen |
| 1 A 1 | Energiewirtschaft |
| 1 A 2 | Verarbeitendes Gewerbe |
| 1 A 3 | Verkehr |
| 1 A 4 | Übrige Feuerungsanlagen |
| 1 A 5 | Sonstige mobile Quellen / Militär |
| 1 B | Diffuse Emissionen aus Brennstoffen |
| 2 | Industrieprozesse und Produktanwendung |
| 2 A | Mineralische Industrie |
| 2 B | Chemische Industrie |
| 2 C | Metallproduktion |
| 2 D | Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und Lösemitteln |
| 2 E | Elektronik-Industrie |
| 2 F | Anwendung als ODS-Ersatzstoff |
| 2 G | Sonstige, Anwendung von Holzkohle, Lachgas aus Sprengstoffen |
| 2 H | Andere Produktionen |
| 3 | Landwirtschaft |
| 3 A | Fermentation bei der Verdauung |

¹ Umrechnung entsprechend den Global Warming Potential(GWP)-Faktoren - GWP CH₄ = 28, GWP N₂O = 265, F-Gase siehe [2]).

| Sektor | Bezeichnung |
|--------|--|
| 3 B | Wirtschaftsdünger-Management |
| 3 D | Nutzung landwirtschaftlicher Böden |
| 3 G | Kalkung (Carbonate) |
| 3 H | Anwendung von Harnstoff |
| 3 I | Anwendung sonstiger kalkhaltiger Dünger |
| 3 J | Emissionen aus Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) |
| 4 | Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft |
| 5 | Abfall- und Abwasserwirtschaft |
| 5 A | Abfaldeponierung |
| 5 B | Bioabfallbehandlung |
| 5 D | Abwasserbehandlung |
| 5 E | Mechanisch-biologische Abfallbehandlung |

Der Sektor „Übrige Feuerungsanlagen“ (1 A 4) wird maßgeblich bestimmt durch den Raumwärmebedarf privater Haushalte und denen des Sektors „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ (GHD), umfasst aber auch Emissionen von Feuerungsanlagen landwirtschaftlicher Betriebe. In den Übersichten wird daher zum Teil die Bezeichnung Gebäude (und sonstige Feuerungsanlagen) gewählt. Somit weicht diese Kategorisierung von der des Bundes-Klimaschutzgesetzes für den Gebäudesektor ab: Diese ordnet die Brennstoffeinsätze in „Land- und Forstwirtschaft und Fischerei“ dem Sektor Landwirtschaft zu.

Bei der Ermittlung der Emissionshöhe der berichteten Gase werden Emissionspfade entsprechend der Richtlinien des IPCC berücksichtigt. Sogenannte indirekte Treibhausgase (z. B. NO_x oder über Methan hinausgehende flüchtige organische Substanzen (NMVOC), d. h. Gase, die selbst keine Treibhauswirkung haben, aber die Bildung anderer Treibhausgase beeinflussen), sind derzeit nicht berichtspflichtig und werden im vorliegenden Bericht nicht aufgeführt. In Biomasse gebundener und als CO₂ wieder freigesetzter Kohlenstoff wird bilanziell ebenfalls nicht erfasst (z. B. CO₂-Ausstoß von Anlagen, die Holz verbrennen).

Der Bereich „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ ist im vorliegenden Inventar noch nicht berücksichtigt, soll aber in einer zukünftigen Fassung aufgenommen werden. Auch im Rahmen der amtlichen Statistik wurde dieser Bereich bislang nur nachrichtlich erfasst. Mit der Verordnung 2018/841 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Umsetzung des Paris-Abkommens sind diese Emissionen in den nationalen Inventarberichten zukünftig verpflichtend zu berichten [3].

Die Schätzung der Emissionsentwicklung für die Vorjahre, für die bislang noch keine Energiebilanz oder andere bereits verfügbare Daten vorliegen (wie z. B. für den Sektor Landwirtschaft), baut auf den Werten des Inventars auf und nutzt unter anderem jeweils prozentuale Änderungen bereits vorliegender Datensätze als Schätzgrundlage.

Für die Bereiche, deren Emissionen dem europäischen Emissionshandel unterliegen (CRF 1 A 1, 1 A 2 und 2 A-B), können große Teile der Emissionsentwicklung mit hoher Sicherheit abgeschätzt werden. Eine moderate Sicherheit kann für die Emissionen im Sektor Landwirtschaft (CRF 3) angenommen werden, da sich die amtlichen Werte überwiegend direkt aus bereits vorliegenden Agrarstatistiken herleiten und nur ein Jahr geschätzt werden muss.

Geringere Sicherheiten ergeben sich für die restlichen Bereiche, die jedoch nur etwa ein Drittel der Gesamtemissionen Sachsen-Anhalts ausmachen. Da für diese Bereiche keine landesspezifischen Daten für das Jahr 2020 vorliegen, wurden die Emissionen anhand des Bundestrends abgeschätzt.

Datenquellen

Bei den Emissionsdaten handelt es sich um eine Zusammenstellung bereits vorliegender Daten. Die wichtigste Quelle ist das Statistische Landesamt Sachsen-Anhalt mit

- statistischen Daten, die nach Umwelt- und Energiestatistikgesetz erhoben wurden und in der Internetpräsenz des Amtes laufend veröffentlicht werden [3],
- gemeinsam nach einheitlicher Methode berechnete und bereitgestellte Daten des Länderarbeitskreises (LAK) Energiebilanzen [5] (für methodische Hintergründe siehe dort den Unterpunkt „Methoden“) und
- gemeinsam veröffentlichte Daten des Arbeitskreises umweltökonomische Gesamtrechnung (UGRdL) [6] (für methodische Hintergründe siehe dort den Unterpunkt „Glossar und Methoden“).

Zur Erstellung einer vollständigen und an den Richtlinien des IPCC orientierten Treibhausgasbilanz (vgl. Kasten) sowie für die Schätzung des Inventars in den beiden Vorjahren, für die noch keine Energiebilanz vorliegt, wurde zusätzlich auf nachfolgend genannte weitere Datenquellen Bezug genommen:

- Nationaler Inventarbericht (NIR) – Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll – Umweltbundesamt sowie Thünen Institut (Berechnungen zu THG-Emissionen aus der Landwirtschaft, betrifft Kapitel 3.4) [2].
- Daten von Anlagen in Sachsen-Anhalt, die nach Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz emissionshandelspflichtig sind [7].
- Daten des Arbeitskreises Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder [8].
- Vorjahresschätzung der Treibhausgasemissionen Deutschlands [12].

Hinweise: Die präsentierten Ergebnisse des THG-Inventars beruhen zum größten Teil auf statistischen Daten und entsprechen den auf den veröffentlichten Werten auf den Datenplattformen des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt, des Länderarbeitskreises Energiebilanzen bzw. den „Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder“. Diese Institutionen passen bei wesentlichen methodischen Umstellungen auch bereits veröffentlichte Energiebilanzen rückwirkend für die der Vorjahre an. Im Jahr 2021 erfolgte eine solche große Revision beim LAK Energiebilanzen. Dies wird in den Fassungen dieses Inventars berücksichtigt. Die rückwirkende Anpassung von Datenreihen an den

jeweils aktuellsten Stand der Erkenntnisse ist den Datengrundlagen zu Emissionsinventarisierung ein übliches Vorgehen.

Abweichungen zu den Veröffentlichungen des Statistischen Landesamtes betreffen die Ergänzung der CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft sowie die Nutzung von Daten aus der Emissionsberichterstattung zur Bestimmung von Prozessemissionen. Zudem wurden bereits durchgehend GWP-Faktoren des IPCC Assessment Report 5 übernommen und die Anpassungen des nationalen Inventars zum Anlass genommen, bereits die Werte der „Submission 2023“ [2] als Grundlage für die Informationen in diesem Bericht zu berücksichtigen.

Die vorliegende Arbeit zielt auf die Erstellung einer vollständigen, an den nationalen Inventarbericht angelehnten Quellenbilanz.

3 Methodische Beschreibungen zu den einzelnen Kategorien

Die folgenden Kapitel enthalten eine kurze inhaltliche Darstellung und Hinweise zu den verwendeten Datenquellen. Eine detaillierte Beschreibung von Berechnungsmethoden und Datenquellen erfolgt nicht, wenn diese in den zugrundeliegenden Quellen dargelegt ist. Darüber hinaus werden Hinweise zur Datensicherheit gegeben und auf Aktualisierungen verwiesen, die sich z. B. auf Verbesserungen zugrunde gelegter Modelle, Berechnungs- oder Messverfahren beziehen.

3.1 Energiebedingte Emissionen von Energiewirtschaft und verarbeitendem Gewerbe² (CRF-Sektor 1 A 1-2/ B)

Im Sektor *Energiebedingte Emissionen* werden sämtliche Emissionen erfasst, die aus der energetischen Nutzung fossiler Brennstoffe resultieren. Energiewirtschaft und verarbeitendes Gewerbe sind die beiden größten Teilspektoren. Davon unterliegen die überwiegenden Emissionen dem europäischen Emissionshandel.³

Darüberhinausgehend sind in einem begrenzten Umfang Emissionen aus der Gewinnung, Verarbeitung und Verteilung von Brennstoffen zu nennen. Neben den direkt aus der Verbrennung resultierenden Emissionen werden in diesem Kapitel auch diffuse Methan-Emissionen aus Brennstoffen berichtet (vgl. Tabelle 2).

3.1.1 Emissionsquellen und verwendete Daten

Verwendet werden Daten des Statistischen Landesamtes, welches CO₂-Emissionen auf Basis der Energiebilanz berechnet⁴. Zudem werden Daten für N₂O und CH₄ des Arbeitskreises UGRdL für die Zusammenstellung genutzt. Der Arbeitskreis multipliziert zur

² inklusive. Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden (Wirtschaftszweig B)

³ Für die rund 100 Anlagen liegen sehr gut abgesicherte Emissionsdaten mit einem geringen Zeitverzug vor, so dass die Entwicklung dieser Großemittenten einen sehr guten Überblick über die Entwicklung des Vorjahres gibt.

⁴ Zum methodischen Vorgehen vgl. <http://www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-co2-bilanzen/>, letzter Zugriff am 26.11.2018

Ermittlung die in der Energiebilanz dokumentierten Brennstoffeinsätze mit Emissionsfaktoren.

Da der größte Teil der Emissionen aus der Energiewirtschaft und dem verarbeitenden Gewerbe aus emissionshandlungspflichtigen Anlagen stammt, kann zudem auf die Daten des Unionsregisters Bezug genommen werden [21]. Diese Daten werden zudem für die Schätzung der Emissionsentwicklung bis 2022 verwendet.

Tabelle 2: Sektorengliederung des Sektors *Energiebedingte Emissionen* (Energiewirtschaft und verarbeitendes Gewerbe) und verwendete Datenquellen

| Sektor | Bezeichnung | Quelle | | | Quelle Schätzung 2019/2020 |
|--------|--|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| | | Bilanz 2018 | | | |
| | | CO ₂ | CH ₄ ^{***} | N ₂ O ^{***} | |
| 1 A | | | | | |
| 1 A 1 | Energiewirtschaft | | | | DE-U |
| 1 A 1a | Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (Fernheizwerke, Strom- und Wärmeversorgung der öffentlichen Kraftwerke) | S | S-U ^{**} | S-U ^{**} | |
| 1 A 1b | Mineralölraffinerien | S | S-U ^{**} | S-U ^{**} | |
| 1 A 1c | Herstellung von Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger | S | S-U ^{**} | S-U ^{**} | |
| 1 A 2 | Verarbeitendes Gewerbe ⁵ | S | S-U ^{**} | S-U ^{**} | |
| 1 B | Diffuse Emissionen aus Brennstoffen | - | S-U [*] | - | |

Legende: S: Statistisches Landesamt, Tabellen Energie- und Wasserversorgung [3]; S-U: Eigenberechnung auf Basis Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder mit aktualisierten GWP-Faktoren [6]; Faktoren ^{**} Aufgrund statistischer Geheimhaltung nur als Summenwert. ^{***} vorläufige Verwendung von Daten des Jahres 2019 als Schätzgröße für 2020. „-“: Keine Emissionen. DE-U: eigene Abschätzung aus Emissionshandelsdaten

Energiewirtschaft (1 A 1)

Die Energiewirtschaft umfasst die öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung sowie Raffinerien. Die Aktivitäten dieses Bereiches sind die bedeutsamste Quelle für CO₂-Emissionen in Sachsen-Anhalt⁶.

Die Emissionshöhe der öffentlichen Elektrizitäts- und Wärmeversorgung wird maßgeblich durch wenige, große Anlagen bestimmt [7]. Der größte Anteil der Emissionen ist der Stromerzeugung zuzurechnen. Vor dem Hintergrund des Ausbaus der erneuerbaren

⁵ inklusive Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden (WZ B)

⁶ Bezogen auf die Endenergie sind nahezu alle Emissionsquellen durch den Emissionshandel erfasst. CO₂-Emissionen sind sowohl über Energiebilanz als auch über Emissionsberichte der DEHSt darstellbar.

Energien und der in den vergangenen Jahren deutlich höheren Preise von CO₂-Zertifikaten erfolgte in diesem Bereich die höchste Minderung der Emissionen.

In Sachsen-Anhalt existieren sowohl eine Mineralölraffinerie als auch weitere Betriebe, die fossile Energieträger entsprechend der Wirtschaftszweiggliederung verarbeiten⁷. Dominant, sowohl in der Energiebilanz als auch in Hinblick auf THG-Emissionen, ist die Mineralölraffination, bei der zeitgleich in größerem Umfang Methanol produziert wird. Es erfolgt eine Erfassung der vielfältigen, emissionsverursachenden Prozesse. Dazu gehören vor allem der Energieeinsatz in Raffinerie-Unterfeuerungen und Raffineriekraftwerken, der Energieeinsatz zur Methanolproduktion und Fackelemissionen. Methan- und Lachgasemissionen nehmen in Bezug auf die relativen Emissionsanteile eine untergeordnete Rolle ein.

Verarbeitendes Gewerbe (1 A 2)⁸

Innerhalb des verarbeitenden Gewerbes (1 A 2) ist vor allem die chemische Industrie mit fast der Hälfte des Energieverbrauchs relevant, gefolgt von der mineralischen Industrie und den Sektoren Papier und Ernährungswirtschaft. Einen Überblick über die Emittenten innerhalb dieses Wirtschaftszweiges liefern die Daten des Emissionshandels.

Die prozentuale Entwicklung der Emissionen emissionshandelspflichtiger Energieanlagen (Tätigkeiten 1-9) wird als Grundlage für die Schätzung der Emissionen der Energiewirtschaft der beiden Vorjahre inkl. der diffusen Emissionen (1 A 1, 1 B) unterstellt. Die Emissionen im europäischen Emissionshandel für Industrieanlagen (Tätigkeiten 11-29) werden auf Basis historischer Werte in energie- und prozessbedingte Emissionen aufgegliedert. Die energiebedingten Emissionen werden als Schätzgrundlage für die energiebedingten Emissionen der Industrie der beiden Vorjahre (1 A 2) genutzt. Die prozessbedingten Emissionen ergeben sich direkt aus der Aufgliederung.

3.1.2 Datenqualität und jüngere Neuerungen

Bei den CO₂-Emissionen der stationären Feuerungsanlagen in der Energiewirtschaft und dem verarbeitenden Gewerbe ist insgesamt von einer guten Datenqualität auszugehen.

Bei Lachgas- und Methanemissionen ist die Sicherheit der Angaben aufgrund der Heterogenität der Bedingungen und der entsprechend nicht vollständig treffsicheren Emissionsfaktoren etwas geringer [1].

Die Untergliederung im Schätzverfahren wurde erstmals mit der „Aktualisierung 2022“ vollständig übernommen.

⁷ Insb. Wirtschaftszweig 19.20.0: Darunter fällt z. B. auch die Herstellung von Schmierölen und -fetten aus Roh- und Altöl, die Herstellung von Paraffin, Vaseline usw.

⁸ inkl. Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden (WZ B)

Für das Schätzverfahren lässt sich – im Vergleich mit anderen Sektoren – von einer etwas höheren Sicherheit ausgehen, was sich an den Schätzungen der vergangenen Jahre gezeigt hat, weil sich diese im Nachgang als treffsicher herausgestellt hat.

Diese Unsicherheit beruht nicht auf den Daten der einzelnen Anlagen. Die Daten im Emissionshandel werden mit hoher Genauigkeit ermittelt. Vielmehr beruhen die Unsicherheit darauf, dass Bilanzgrenzen der im Emissionshandel erfassten Emissionen nicht vollständig deckungsgleich mit denen der offiziellen Statistik sind.

3.2 Energiebedingte Emissionen des Verkehrs und von Gebäuden und sonstigen Feuerungsanlagen (CRF-Sektor 1 A 3-5)

Die energiebedingten Emissionen des CRF-Sektors 1 umfassen neben den größeren Anlagen im Bereich *Energiewirtschaft* und *Verarbeitendem Gewerbe* auch Emissionen aus vielen kleineren Quellen. Im Verkehrs- und Gebäudebereich handelt es sich hier überwiegend um Emissionen von Kraftfahrzeugen und Heizungsanlagen.

3.2.1 Emissionsquellen und verwendete Daten

Verwendet werden Daten des Statistischen Landesamtes, welches Emissionsmengen für CO₂ auf Basis der Energiebilanz ermittelt. Zudem werden Daten des Arbeitskreises UGRdL berücksichtigt, welcher Daten für N₂O und CH₄ berechnet. Die Schätzung für die jüngeren Jahre ohne vorliegende Energiebilanz erfolgt für die Untersektoren auf Basis von Bundestrends.

Tabelle 3: Sektorengliederung des Sektors *Energiebedingte Emissionen* (weitere Untersektoren, ergänzt Tabelle 1) und verwendete Datenquellen

| Sektor | Bezeichnung | Quelle | | | Schätzung |
|------------------|--|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|
| | | CO ₂ | CH ₄ ^{***} | N ₂ O ^{***} | |
| 1 A 3 | Verkehr | S | S-U | S-U | V |
| 1 A 4 / 1 A 5 | Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land- Forstwirtschaft und Fischerei, Sonstige Feuerungsanlagen (v. a. Militär) | S | S-U ^{**} | S-U ^{**} | V |

Legende: S: Statistisches Landesamt, Tabellen Energie- und Wasserversorgung [3]; S-U: Einberechnung auf Basis Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder mit neuen GWP-Faktoren [6]; ** Aufgrund statistischer Geheimhaltung nur als Summenwert. *** vorläufige Verwendung von Daten des Jahres 2019 als Schätzgröße für 2020. V-Schätzung auf Basis von Bundestrends/ Vorjahresschätzung des Bundes

Verkehr (1 A 3)

Neben den Emissionen aus dem Straßenverkehr (1 A 3b) werden Emissionen aus dem zivilen Luftverkehr (1 A 3a), aus dem Schiffsverkehr (1 A 3d), verbrennungsbedingte Emissionen aus dem Schienenverkehr (1 A 3c) sowie Emissionen des übrigen Verkehrs und weiteren Quellen (1 A 3e) berichtet. Zu sonstigen Quellen gehören z. B. Gasturbinen in

Erdgasverdichterstationen. Emissionen aus der Stromerzeugung, vor allem für Bahnstrom, sind Teil des Sektors Energiewirtschaft 1 A 1 (s. o.).

Die Verbrennung von Mineralölprodukten im Straßenverkehr macht weit über 90 % der sektoralen Emissionen aus. Die dargestellten Daten zum Energieverbrauch des Verkehrs beruhen im Allgemeinen auf Statistiken über die Lieferungen an Verkehrsträger. Bei Berechnungen auf dieser Basis ist anzumerken, dass inländische Verkaufsmengen größere Abweichungen zu inländischen Verbrauchsmengen (d. h. den emissionsrelevanten Vorgängen auf den Straßen in Sachsen-Anhalt) aufweisen können.⁹

Entsprechend der IPCC-Richtlinien sind Vergleiche zu verkehrsleistungsbasierten Daten vorzunehmen (falls Kenntnisse zu Fahrzeugkilometern verfügbar sind). Demnach zeigt der Vergleich der Werte des Verkehrsemissionskatasters und der aus der Energiebilanz hergeleiteten Werte eine erhebliche absolute Abweichung. Die Veränderungen im Zeitverlauf stimmen jedoch gut überein^{Fehler! Textmarke nicht definiert.}. Inhalte des Verkehrsemissionskatasters können daher als zusätzliche Informationsquelle zur Interpretation genutzt werden.

Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei; Sonstige und Militär (1 A 4 / 1 A 5, Gebäude)

Über die Emissionen aus einer heterogenen Gruppe kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen wird in dieser Kategorie berichtet. Die Feuerungsanlagen umfassen kleinere Einzelraumfeuerungen (z. B. Kaminöfen) sowie immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehreren Megawatt. Im vorliegenden Bericht werden diesem Bereich zudem Emissionen sonstiger Feuerungsanlagen, z. B. aus Aktivitäten der Bundeswehr und land- und forstwirtschaftlichen Maschinen, zugeordnet.

Die Emissionen beruhen auf den Energieeinsatzmengen, die in der Energiebilanz aufgeführt werden¹⁰ [4]. Daten werden weitgehend absatzbezogen erhoben, d. h. als Datengrundlage dienen die Liefermengen an die entsprechenden Verbrauchergruppen.¹¹

Die Emissionen werden dominiert durch Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung (Haushalte: Raumwärme, Warmwasser und Kochen; Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und sonstige Verbraucher: Warmwasser, Raum- und Prozesswärme). Enthalten sind auch

⁹ Dies war bereits im KSK von 2008 herausgearbeitet worden. Nach offiziellen (IPCC-)Richtlinien und Herangehensweisen in der EU werden verkaufte Kraftstoffmengen als ausschlaggebend gewertet. Für die vorliegende Bilanzierung werden die CO₂-Emissionen des Verkehrs daher den Angaben des Statistischen Landesamtes entnommen, die verkaufte Kraftstoffmengen als Grundlage verwenden.

¹⁰ Unterpunkt „Tabellen zur Energie- und Wasserversorgung, Energiebilanz; Zeilen 82-83 bzw. deren Summe in Zeile 84. (Energiebilanz des Landes Sachsen-Anhalt in Terajoule)

¹¹ Private Haushalte, private und öffentliche Dienstleistungsunternehmen und Einrichtungen, Landwirtschaft, Geschäftsgebäude und Räume gewerblicher Art, Gewerbebetriebe mit im Allgemeinen weniger als 20 Beschäftigten, soweit nicht im verarbeitenden Gewerbe erfasst.

Emissionen aus Brennstoffeinsätzen zur Wärmeerzeugung kleiner KWK-Anlagen¹², Emissionen aus der Strombereitstellung für Wärmepumpen werden hingegen im Bereich Energiewirtschaft (1 A 1) berücksichtigt.

Der Haupttreiber für die CO₂-Emissionen in 1 A 4 ist der Energieverbrauch für Raumwärme. Schwankungen sind daher teilweise durch die unterschiedlichen winterlichen Kälteperioden erklärbar.

3.2.2 Datenqualität und jüngere Neuerungen

Die Datenqualität für die Daten im Verkehrsbereich ist insgesamt vergleichsweise gut. Die Werte für den Bereich Haushalte und GHD (1 A 4) unterliegen einer etwas höheren Unsicherheit, da für diesen Bereich keine umfassende Erfassung aller Einzelquellen erfolgen kann.

Bei Lachgas- und Methanemissionen, die jedoch weniger als 2 % der Gesamtemissionen ausmachen, ist die Sicherheit aufgrund der Heterogenität der Bedingungen und der nicht vollständig treffsicheren Emissionsfaktoren noch etwas geringer [1].

3.3 Industrieprozesse und Produktanwendung (CRF-Sektor 2)

Im Sektor Industrieprozesse und Produktanwendung werden Emissionen berichtet, die aus chemischen Reaktionen industrieller Herstellungsprozesse resultieren. Zudem werden Treibhausgase berücksichtigt, die bei dem Gebrauch bestimmter Produkte freigesetzt werden. Damit beinhaltet der Sektor eine Bandbreite an emissionsverursachenden Vorgängen und eine Vielzahl unterschiedlicher Treibhausgase – beispielsweise werden sämtliche F-Gase in diesem Sektor berichtet. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die in Sachsen-Anhalt relevanten Kategorien und Unterkategorien. Die Kategorien 2 A-C und E beziehen sich auf Industriesektoren. Sie ergänzen die energiebedingten Emissionen des verarbeitenden Gewerbes, die berichtet werden. Die Bereiche 2 D, F-G umfassen hingegen maßgeblich Emissionen von F-Gasen, die aus der Verwendung von Produkten resultieren. Bei diesen Emissionen besteht eine z. T. deutlich höhere Unsicherheit bezüglich Zeit und Ort der Emission.

3.3.1 Emissionsquellen und verwendete Daten

Aufgrund der Heterogenität des Sektors und um möglichst sichere Werte zur vollständigen Abdeckung der Emissionen zusammenzustellen, wurde auf unterschiedliche Datenquellen zurückgegriffen.

Für einen Teil von relevanten Prozessemissionen in Sachsen-Anhalt werden durch das Statistische Landesamt bzw. die UGRdL Werte veröffentlicht (CO₂: Produktion von Zementklinker, Kalk, Glas, Calciumkarbid, Ammoniak, Soda und Ruß; N₂O: Salpeter- und Adipinsäureproduktion, medizinische Anwendungen; CH₄: Petrochemie und Industrieruß,

¹² Deren Stromproduktion wird in der Energiebilanz außerhalb von Energiewirtschaft und Industrie unter „sonstige Energieerzeuger (Strom)“ erfasst.

Holzkohleanwendung, F-Gase). Für die Emissionen im Jahr 1990 wurden diese Werte gebündelt übernommen.

Für die Zeitreihe ab 2005 wurde zum Teil eine andere Herangehensweise gewählt, auch da Werte des Statistischen Landesamtes nicht vollständig vorliegen.

Im Rahmen europäischer und/oder nationaler Berichtspflichten (z. B. PRTR oder nach 11. BImSchV sowie im Rahmen von Emissionshandelsverpflichtungen) erfassen und berichten große Teile der mineralischen und chemischen Industrie Stoffströme und Emissionen. Diese Berichte beinhalten anlagenspezifische Werte, die anhand von Messungen oder definierten Vorgaben zu Berechnungsverfahren ermittelt werden. Darüber hinaus konnten Betreiberangaben genutzt werden. Daten zu Emissionen bzw. darauf aufbauende Auswertungen des UBA wurden verwendet, wenn die Emissionshöhen von Untersektoren als belastbarer als die aus statistischen Daten hergeleiteten Werte eingeschätzt wurden.

Zur Bestimmung der Höhe der Emissionen von F-Gasen wurden Ergebnisse des nationalen Inventarberichtes (NIR) durch die UGRdL anhand vorhandener Kennziffern (z. B. Einwohnerzahl) auf die Bundesländer heruntergerechnet.

Für die Schätzung der jüngeren Jahre wurden Bundestrends (prozentuale Änderungen) auf die Zeitreihe übertragen.

Tabelle 4: Sektorengliederung des Sektors Prozessemissionen: Darstellung von Kategorien und Unterkategorien mit Emissionen in Sachsen-Anhalt und verwendete Datenquellen

| Sektor | Bezeichnung | Quelle ¹³ | | | | Schätzung g 2022 |
|--------|---|----------------------|-----------------|------------------|--------|---------------------|
| | | Bis 2021 | | | | |
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | F-Gase | |
| 2 A | Mineralische Industrie | | | | | DE-U |
| 2 A 1 | Zementklinkerproduktion | DE | - | - | - | |
| 2 A 2 | Kalkbrennen | DE | - | - | - | |
| 2 A 3 | Glasherstellung | DE | - | - | - | |
| 2 A 4a | Keramikproduktion | DE | - | - | - | |
| 2 A 4b | Sonstige Sodaverwendung | NIR | - | - | - | |
| 2 B | Chemische Industrie | | | | | |
| 2 B 1 | Ammoniakproduktion | DE-B | - | - | - | |
| 2 B 2 | Salpetersäureproduktion | - | - | DE-B | - | |
| 2 B 3 | Adipinsäureproduktion | - | - | DE-B | - | |
| 2 B 7 | Sodaherstellung | NIR | - | - | - | |
| 2 B 8 | Petrochemikalien und Industrierußproduktion | NIR/ S-U* | S-U* | - | - | |
| 2 G 3 | Verwendung von N ₂ O | - | - | NIR | - | V |

¹³ Für 1990 abweichend von dieser Darstellung: S-U für CO₂, CH₄ und N₂O in den Kategorien 2 A/ 2 B

| Sektor | Bezeichnung | Quelle ¹³ | | | | Schätzung 2022 |
|--------|---|----------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|
| | | Bis 2021 | | | | |
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | F-Gase | |
| 2 G 4 | Andere (ORC-Anlagen, Holzkohleanwendungen, Feuerwerkskörper) | - | S-U* | NIR | - | V |
| 2 D | Nichtenergetische Produkte aus Brennstoffen | NIR | - | - | - | V |
| 2 C | Herstellung von Metall | - | - | - | Summenwert S-U** | V |
| 2 E | Elektronikindustrie | - | - | - | | |
| 2 F | Anwendungen als ODS-Ersatzstoff | | | | | |
| 2 F 1 | Kältemittel/ Klimaanlage | - | - | - | | |
| 2 F 2 | Schaumherstellung | - | - | - | | |
| 2 F 3 | Feuerlöschmittel | - | - | - | | |
| 2 F 4 | Aerosole | - | - | - | | |
| 2 F 5 | Lösemittel | - | - | - | | |
| 2 F 6 | Andere Anwendungen, die Ersatzstoffe für ozonabbauende Substanzen (ODS) verwenden | - | - | - | | |
| 2 G | Andere Produktherstellung und -verwendungen | | | | | |
| 2 G 1 | SF ₆ aus elektrischen Betriebsmitteln | - | - | - | | |
| 2 G 2 | SF ₆ und FKW aus sonstiger Produktverwendung | - | - | - | | |
| 2 H | Sonstige (Geheimhaltung) | - | - | - | | |

Legende: DE: Auswertungen der DEHSt; DE-U: eigene Abschätzung aus Emissionshandelsdaten [7]; -: Keine Emissionen; NIR: eigene Anteilsschätzung auf Basis Nationaler Inventarberichts [1]; DE-B: Betreiberangaben/ Emissions(handels)-Berichte [7]; S-U*: Eigene Schätzungen und Berechnungen auf Basis von Daten der UGRdL [6]; V-Eigene Schätzung auf Basis von Bundestrends/ Vorjahresschätzung des Bundes

Mineralische Industrie (2 A)

Prozessemissionen der mineralischen Industrie entstehen maßgeblich in emissionshandelspflichtigen Anlagen. Die Prozessemissionen beruhen auf der Freisetzung von CO₂ aus kohlenstoffhaltigen Mineralien (Carbonaten)¹⁴.

¹⁴ Für die Zwecke des nationalen Inventarberichtes wurde eine Übersicht zur Verwendung von Kalkstein erarbeitet („Kalksteinbilanz“). Hintergrund ist, dass CO₂ aus der Verwendung von Kalkstein in unterschiedlichen Bereichen berichtet wird und z.T. in weiteren Prozessschritten Verwendung findet. So werden beispielsweise

Die Anlagen der mineralischen Industrie fallen jeweils ab einer nach Treibhausgasemissionshandelsgesetz vorgegebenen Mindestgröße unter die Emissionshandlungspflicht und müssen Prozessemissionen erfassen. Relevant für diesen CRF-Sektor sind in Sachsen-Anhalt zwei Zementklinkerwerke (2 A 1), sieben Anlagen der Kalkindustrie (2 A 2), sieben Anlagen der Glasindustrie (inkl. Mineralwolleherstellung) (2 A 3) und sechs Anlagen zum Brennen keramischer Erzeugnisse (z. B. Hintermauerziegel, Dachziegel, 2 A 4a).

Dabei wurde auf Auswertungen der DEHSt hinsichtlich der Anteile von Prozessemissionen an den gesamten Emissionen für die jeweiligen Untersektoren. Die Ergebnisse konnten z. T. zusätzlich anhand von statistischen Daten (Produktionsmengen), Emissionsfaktoren des NIR sowie Daten aus Emissionsberichten (11. BImSchV) geprüft werden¹⁵. Dabei wurde eine weitgehend sehr gute Übereinstimmung festgestellt.

Sachsen-Anhalt ist wichtiger Standort für die Produktion¹⁶ und die Verwendung von Soda. Das Produkt Soda wird in der Industrie für die verschiedensten Anwendungen eingesetzt. Die wichtigsten Einsatzfelder sind die Glasindustrie, die Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln und die chemische Industrie. Es wird davon ausgegangen, dass der im Soda enthaltene Kohlenstoff unabhängig von der Nutzungsart früher oder später als CO₂ in die Luft freigesetzt wird.

In Sachsen-Anhalt hat die Glasindustrie einen großen Anteil an den Emissionen (berichtet unter 2 A 3). Für Emissionen der restlichen Sodaverwendung in Sachsen-Anhalt (Sonstige Sodaverwendung, 2 A 4b; betrifft z. B. Anwendungen in der Industrie) wird vereinfacht davon ausgegangen, dass diese im gleichen Anteilsverhältnis zu den gesamtdeutschen Emissionen stehen deren Produktion. Zur Herleitung wurde daher der Anteil der Produktionsmenge in Sachsen-Anhalt von der gesamtdeutschen Produktionsmenge als Berechnungsgrundlage für die Abschätzung des sachsen-anhaltischen Anteils an der gesamtdeutschen Emissionsmenge gewählt.¹⁷

Chemische Industrie (2 B)

Ammoniakproduktion (2 B 1): In Sachsen-Anhalt befindet sich Deutschlands größte Produktionsanlage für Ammoniak. Diese nutzt das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniakherstellung auf Basis von Wasserstoff und Stickstoff unter Bildung von CO₂. In einem hochintegrierten Verfahren wird der Wasserstoff in einem Steam-Reforming-Prozess gewonnen. Das entstehende CO₂ wird zu großen Teilen zur Harnstoffproduktion weiterverwendet. Die prozessbedingten Emissionen, die auch für den nationalen

CO₂-Mengen beim Kalkbrennen in der Zuckerindustrie oder auch im Solvay-Verfahren bei der Sodaherstellung nicht berichtet, da dieses CO₂ in weiteren Prozessschritten wieder eingebunden wird.

¹⁵ Bei Zementklinker wurde wie im nationalen Inventarbericht ein Anteil von 2 % Bypassstaub berücksichtigt.

¹⁶ Produktionsbedingte Emissionen werden als Teil der chemischen Industrie berichtet (2 B 7, s. u.)

¹⁷ Dieser konnte aus vorliegenden Quellen hergeleitet werden, die allerdings vertraulich sind.

Inventarbericht verwendet werden, wurden durch den Hersteller bereitgestellt und übernommen.

Salpeter- und Adipinsäureproduktion (2 B 2 und 2 B 3): Bei einem Verfahrensschritt der Salpetersäureproduktion wird NH_3 in einer katalytischen Reaktion und bei Temperaturen zwischen 800 und 950 °C zu NO oxidiert. Durch unerwünschte Nebenreaktionen wird dabei N_2O gebildet. Auch bei der Adipinsäureherstellung werden im Zuge der Oxidation eines Gemisches von Cyclohexanol und Cyclohexanon mit Salpetersäure erhebliche Mengen an Lachgas gebildet. Zur Minderung der Emissionen kommen bei den Produktionsanlagen inzwischen Zersetzungstechniken zum Einsatz, so dass nur ein Teil der Lachgasmengen tatsächlich emittiert wird.

In Sachsen-Anhalt gibt es zwei Anlagen zur Salpetersäureproduktion und eine Anlage zur Adipinsäureproduktion, die emissionshandelspflichtig sind [7]. Für diese Anlagen konnten ebenfalls Messwerte aus der PRTR-Datenbank bzw. Betreiberangaben verwendet werden¹⁸.

Sodaherstellung (2 B 7): Die Produktion von Soda (Natriumcarbonat) geschieht durch die Umsetzung von Natriumchlorid und Kalkstein (Calciumcarbonat). Das bei der Produktion entstehende CO_2 wird zu großen Teilen wieder im Prozess verwendet, so dass nur ein Teil der Emissionen freigesetzt wird. Die im NIR berichteten Werte wurden anhand des Produktionsanteils auf Sachsen-Anhalt heruntergerechnet. Insgesamt gehen die Emissionswerte in Deutschland und demzufolge auch in Sachsen-Anhalt trotz konstanter Produktionsleistung leicht zurück.

Petrochemie und Industrierußherstellung (2 B 8): In der Petrochemie werden aus Erdgas und Fraktionen des Erdöls organische Grundchemikalien hergestellt, die zu einer Vielzahl an Zwischen- und Endprodukten (hauptsächlich Polymere) weiterverarbeitet werden. In den IPCC Richtlinien von 2006 werden die Produktion der Grundchemikalien (a) Methanol, (b) Ethylen, (c) Ethylendichlorid und Vinylchlorid, (d) Ethylenoxid und (e) Acrylnitril aufgrund ihrer potentiellen Kohlendioxid- und Methanemissionen hervorgehoben. Die Herstellung von Petrochemikalien und Derivaten ist neben Pharmazeutika, Fein- und Spezialchemikalien sowie Polymeren eine der wichtigsten Sparten der chemisch-pharmazeutischen Industrie gemessen am Produktionswert. Die Methanemissionen lassen sich den Auswertungen der UGRdL entnehmen, die eine Verteilung der bundesweit ermittelten Emissionen auf die Länder anhand der Produktionsstatistik zugrunde legt¹⁹. In den Jahren 2012-2016 lag der Anteil Sachsens-Anhalts im Mittel bei etwa 7 % der deutschen Emissionen. Dieser Wert wird genutzt, um auch den Anteil der CO_2 -Prozessemissionen der chemischen Industrie an den bundesdeutschen Emissionen abzuschätzen.

¹⁸ www.thru.de, telefonische Mitteilung Firma Radici, schriftliche Mitteilung Firma SKW Piesteritz.

¹⁹ Da der veröffentlichte Summenwert für Methanemissionen auch Holzkohleanwendungen enthält, wurde zunächst ein anhand der Bevölkerungszahl abgeschätzter Wert für Holzkohleanwendungen von dem Gesamtwert abgezogen.

Aufgrund der geringen Produktionskapazität (nur eine im Jahr 2012 in Betrieb genommene kleinere Industrierußanlage, Recycling von Altreifen) werden die Emissionen der Industrierußherstellung nicht ausgewiesen.

Für die weiteren Kategorien innerhalb der chemischen Industrie sind keine Emissionen bekannt. Das betrifft die Produktion von Caprolactam, Glyoxal und Glyoxylsäure (2 B 4) sowie Titandioxid (2 B 6), für die in ganz Deutschland keine Emissionen berichtet werden. Auch in der Carbidproduktion (2 B 5)²⁰ und der Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF₆ (2 B 9)²¹ fallen in Sachsen-Anhalt keine Emissionen an.

Metall- und Elektroindustrie (2 C und E)

In der Metallindustrie Sachsens-Anhalts wurden in dem Berichtszeitraum der Jahre 2005-2016 keine relevanten Prozessemissionen verursacht, da keine Anlagen der relevanten Produktionszweige (z. B. Stahlindustrie, Primäraluminiumproduktion) existieren. Auch in der Produktion von Sekundäraluminium, die in Sachsen-Anhalt von quantitativer Bedeutung ist, spielt der Einsatz von SF₆, der im NIR für diesen Bereich genannt ist, keine Rolle²².

Rückblickend sind Emissionen für das Jahr 1990 zu erwähnen. So verursachte das Bitterfelder Aluminiumwerk, das im Sommer 1990 stillgelegt wurde, im Jahr der Stilllegung noch Emissionen von CF₄ und C₂F₆. Der NIR berücksichtigt für diese und eine weitere Anlage in Sachsen für das Jahr 1990 Emissionen von 20 t CF₄ und 2 t C₂F₆. Bei Annahme gleicher Produktionsleistung lassen sich diese entsprechend der genannten Anodeneffekt-Häufigkeiten auf beide Standorte aufteilen.

Auch für den Bereich der Elektronikindustrie sind derzeit keine Prozessemissionen bekannt. Demnach sind Halbleiter- und Platinenproduktion, in denen Prozessemissionen u. a. der Gase CF₄ und SF₆ berichtet werden, in Sachsen-Anhalt ohne nennenswerte Bedeutung²³.

Rückblickend sind in den Jahren ab 2005 Prozessemissionen bei der Herstellung von Photovoltaikwafern aufzuführen. In Sachsen-Anhalt war zeitweise der weltweit größte Produktionsstandort zu verorten („Solar Valley“).

Für die Emissionen dieses Industriezweigs in Sachsen-Anhalt im Jahr 2005 wurde der Anteil der im NIR berichteten Werte abgeschätzt. Dies erfolgte überschlägig anhand des Anteils

²⁰ Seit der Stilllegung der Carbidanlage der Buna-Werke im Jahr 1991 existiert in Sachsen-Anhalt keine Carbidproduktion mehr.

²¹ Hersteller ist zwar in ST vertreten, allerdings mit Produktionsprozessen ohne Relevanz für den CRF-Sektor 2.

²² Mündliche Mitteilung, Statistisches Bundesamt, Zweigstelle Bonn (G202); Schriftliche Mitteilung, UBA, FG III 2.2.

²³ Im Jahr 2017 lag der Umsatz der Betriebe des Wirtschaftszweigs Herstellung von elektronischen Bauelementen und Leiterplatten (62.1) bei ca. 63 Mio. € (Statistisches Landesamt ST), was lediglich einem Anteil von 0,5 % des bundesweiten Produktionswertes dieses Wirtschaftszweiges entspricht (DESTATIS).

des Marktführers an der Solarzellenproduktion (2005: 165,7 MWp von 319 MWp)²⁴. Aufgrund des Zusammenbruchs der Solarzellenproduktion in Deutschland wurde für das Jahr 2018 nicht mehr von einer Emission von F-Gasen ausgegangen.

Nichtenergetische Produkte aus Brennstoffen (2 D)

Kohle, Öl und Gas werden auch für andere Zwecke als zur energetischen Verwendung genutzt. Über 10 % des Primärenergieverbrauchs in Sachsen-Anhalt entfallen auf die Herstellung solcher nicht-energetischen Produkte. Raffinerien und chemische Industrie sind dominierende Verbraucher (z. B. für Methanol und Schmierstoffe).

Nach dem Quellprinzip werden die Emissionen bei der Verwendung der Produkte in den jeweiligen Kategorien bilanziert. Diese Kategorie umfasst CO₂-Emissionen aus der Anwendung von Schmiermitteln (2 D 1)²⁵, von Paraffinwachsen (Kerzen) (2 D 2) und aus einem Bereich sonstiger CO₂-Emissionen (2 D 3). In letzterem werden sehr unterschiedliche anwendungsbezogene Emissionen erfasst, beispielsweise Emissionen aus der Anwendung von Waschmitteln, Kosmetika, Kfz-Frostschutz sowie Farben und Lacken. Der Anteil der im NIR berichteten Werte für Sachsen-Anhalt wurde anhand des Anteils am deutschen BIP abgeschätzt.

Anwendung als Ersatz für ozonabbauende Stoffe (2 F), Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2 G)

Relevant sind in diesen Kategorien insbesondere die F-Gase-Emissionen aus der Anwendung von Stoffen, in denen unterschiedliche HFKW und FKW enthalten sind. Heute resultiert der allergrößte Teil der Emissionen aus der Anwendung, während Emissionen bei der Produktion weniger bedeutsam sind. Kältemittel spielen insgesamt die größte Rolle, davon die Hälfte in mobilen Klimaanlage. Darüber hinaus sind Emissionen aus Gewerbe- und Industriekälte, Kühlfahrzeugen und -containern sowie stationären Klimaanlage relevant. Die verbleibenden Emissionen der Kategorie 2 F sind maßgeblich auf Treibmittel im Bereich Schaumstoffe und Aerosole zurückzuführen.

Die Kategorie 2 G setzt sich vor allem aus SF₆ spezieller Anwendungen zusammen. SF₆ findet heute als Lösch- und auch als Isoliermittel in Schaltanlagen und Schaltgeräten der Hochspannung (52-380 kV) und zunehmend auch in der Mittelspannung (10-52 kV) Verwendung. Die Pflicht zur Rückgewinnung der Gase durch qualifiziertes Personal führt dazu, dass Emissionen deutlich geringer als die verwendeten Mengen sind. (2 G 1). Anders ist dies bei den seit 1975 in der Bundesrepublik und im Sanierungsboom der

²⁴ Relevant sind Emissionen von SF₆ und NF₃. Letzteres ersetzte SF ab 2008 in neu gebauten Produktionslinien zu Herstellung von Si-Dünnschichtzellen. Seit 2014 bzw. 2015 gibt es in Deutschland keine Produktion mit SF₆ bzw. NF₃ mehr. Auch der Einsatz von CF₄ zum Kantenisolieren kristalliner Solarzellen wurde 2014 eingestellt.

Produktionszahlen Geschäftsbericht, zit. in: https://de.wikipedia.org/wiki/Hanwha_Q-Cells; deutsche Solarzellenherstellung: https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content_files/faktenblatt_pv.pdf

²⁵ Umfasst nicht die Schmierstoff-Mitverbrennung in Zweitaktmotoren, die in der Kategorie Verkehr (1 A 3b) miterfasst wird.

Nachwendejahre verwendeten Schallschutzfenstern, in denen SF₆ verwendet wurde (2 G 2 c). Weitere Emissionen fallen u. a. im Bereich Militär oder bei der Nutzung von Teilchenbeschleunigern (z. B. bei Geräten zur Strahlentherapie) an, in der Vergangenheit auch aus SF₆-gefüllten Autoreifen.

Deutschlandweit stammt der größte Teil der Emissionen der Kategorie 2 G aus Isolierglasfenstern. Für das Jahr 1990 wird darauf verwiesen, dass die SF₆-Isolierung von Schaltanlagen in der DDR selten war und in der Hochspannungsebene kaum und in der Mittelspannungsebene gar nicht vorkam. Auch war SF₆ in der DDR nicht als Isoliergas für Schallschutzscheiben verwendet worden [1].

Die F-Gase-Emissionen werden direkt als Summenwert entsprechend der Aufgliederung der UGRdL übernommen.

Darüber hinaus umfasst die Kategorie in geringerem Umfang auch Lachgas- und Methanemissionen. Lachgas findet vor allem in der Medizin Anwendung, weitere Einsatzquellen sind der Einsatz in Sprühsahnedosen und in der Halbleiterindustrie. Darüber hinaus werden Emissionen aus der Verwendung von Feuerwerkskörpern oder der Anwendung von Holzkohle (CH₄ und N₂O) berichtet.

3.3.2 Datenqualität und jüngere Neuerungen

Die Datenqualität innerhalb des Sektors ist sehr heterogen. Während die Belastbarkeit der Daten zu CO₂-Emissionen, die auf Basis von Emissionsberichten hergeleitet wurden, als gut einzuschätzen ist, sind andere Daten, insbesondere im Bereich der F-Gase, als unsicher zu charakterisieren. Vor allem für weiter zurückliegende Zeiträume bestehen derzeit umfassende Wissenslücken.

Die Unsicherheit bei den Lachgaswerten wird insgesamt als gering eingeschätzt. So sind Werte für die Industrieprozesse lediglich auf wenige Anlagen zurückzuführen. Auch bei medizinischen Anwendungen ist die Sicherheit relativ hoch. Das betrifft auch den Wert von 1990, für den im NIR statistische Daten der DDR genutzt wurden, die die Situation in Sachsen-Anhalt gut erfassen.

3.4 Landwirtschaft (CRF Sektor 3)

3.4.1 Emissionsquellen und verwendete Daten

Die bedeutsamsten Emissionsquellen des Sektors Landwirtschaft liegen in der Viehwirtschaft und in der Bewirtschaftung von Böden.

Emissionen aus der Viehwirtschaft entstehen sowohl direkt bei der Verdauung (v. a. von Wiederkäuern, 3 A) als auch bei dem Umgang mit Wirtschaftsdüngern (3 B). Relevant sind vor allem Methanemissionen (CH₄). Dem Wirtschaftsdünger-Management werden neben den direkten Emissionen auch Emissionen zugerechnet, die indirekt über die Emission reaktiven

Stickstoffs und dessen Umwandlung in Lachgas erfolgen.²⁶ Auch die Wirtschaftsdünger-Vergärung inklusive Lagerung wird in dieser Kategorie berichtet.

Emissionen, die durch tierische Ausscheidungen und das Management von Wirtschaftsdüngern entstehen, werden nach Tierkategorien und Haltungsformen differenziert berücksichtigt. Dabei werden z. B. Weidezeiten oder Vorhandensein von Abluftreinigungsanlagen an Ställen sowie Lagerungs- und Ausbringungsformen der Wirtschaftsdünger berücksichtigt.

Bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Böden (3 D) sind vor allem Lachgasemissionen relevant. Lachgas entsteht als Nebenprodukt von Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen, insbesondere in Folge der Düngung mit stickstoffhaltigen Düngemitteln.

Zusätzlich werden CO₂-Emissionen berichtet, die bei chemischen Reaktionen bei der Ausbringung frei werden. Dies betrifft vor allem Düngemittel, die den pH-Gehalt des Bodens beeinflussen (Kalkung)²⁷ (3 H und 3 I).

Seit einigen Jahren erfolgt im deutschen Inventar die separate Ausweisung von Emissionen im Kontext der Biogaserzeugung [1]. Die Aussagen zu dem Wirtschaftsbereich im Energiesektor werden auf diese Weise ergänzt. Dies betrifft die Emissionen an der Anlage (bei der Vergärung von Energiepflanzen und deren Gärrestlagerung, 3 J), bei der Ausbringung von Gärresten sowie die indirekten Emissionen infolge von Stickstoffdepositionen (beides unter 3 D).

Die Daten für den CRF Sektor 3 (Landwirtschaft) stammen vollständig aus dem bundesweiten Emissionsinventar, das jährlich durch das Braunschweiger Institut für Agrarklimaschutz des Thünen-Instituts für den CRF-Sektor als Teil des nationalen Inventars erstellt wird [18]. Die umfangreiche und nach Bundesländern aufgelöste Datensammlung wird im Emissionsinventarmodell „GAS-EM“ berechnet.

Diese Ergebnisse werden ohne Anpassungen übernommen. Detaillierte Hinweise zu den verwendeten Methoden sind im zugrundeliegenden Bericht aufgeführt und werden hier nicht vollständig wiedergegeben. Gegenüber anderen Datenquellen liegen landesbezogene Daten des Thünen-Instituts zum Zeitpunkt der deutschen Berichterstattung bereits landesspezifisch vor, sodass nur ein Jahr abgeschätzt werden muss, was anhand des Bundestrends erfolgt.²⁸

²⁶ Emissionen von Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren, sowie von Tieren, die außerhalb von landwirtschaftlichen Betrieben gehalten werden (betrifft in ST z. B. ca. 20.000 Pferde), werden nicht berichtet.

²⁷ Die berichteten CO₂-Emissionen umfassen entsprechend den Anforderungen in IPCC (2006): Vol 4, Ch. 11.3, und CRF-Tabelle 3.G-I neben den Emissionen aus der Landwirtschaft auch die aus der Kalkung im Forstbereich.

²⁸ Marginal bessere Schätzergebnisse könnten mit einem Modell auf Basis der in das Inventar eingehenden Datenquellen der Officialstatistik abgeschätzt werden (Viehbestand – Fachserie 3 Reihe 4.1, Düngemittelversorgung – Fachserie 4 Reihe 8.2; Wachstum und Ernte – Feldfrüchte- Fachserie 3 Reihe 3.2.1). Aus Gründen der Arbeitseffizienz wird ab der „Aktualisierung 2022“ auf dieses Vorgehen verzichtet.

Tabelle 5: Sektorengliederung des Sektors Landwirtschaft und verwendete Datenquellen

| Sektor | Bezeichnung | Quelle bis 2021 | | | Schätzung 2022 |
|--------|--|-----------------|-----------------|------------------|-------------------------|
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | |
| 3 A | Fermentation bei der Verdauung | - | NIR-T | - | S (3.4.1) |
| 3 B | Wirtschaftsdünger-Management | - | NIR-T | NIR-T | |
| 3 D | Nutzung landwirtschaftlicher Böden | | | | S (4.8.2 (+3.4.1, + B)) |
| 3 D a | Direkte N ₂ O-Emissionen von bewirtschafteten Böden | - | - | NIR-T | |
| 3 D b | Indirekte N ₂ O-Emissionen von bewirtschafteten Böden | - | - | NIR-T | |
| 3 G | Kalkung | NIR-T | - | - | S (4.8.2) |
| 3 H | Anwendung von Harnstoff | NIR-T | - | - | |
| 3 I | Anwendung anderer kalkhaltiger Dünger | NIR-T | - | - | |
| 3 J | Im Zusammenhang mit der Energiepflanzen-Vergärung entstehende Emissionen (Fermenter, Gärrestlager) | - | NIR-T | NIR-T | B |

Legende: NIR-T: Daten des Thünen-Instituts für den Nationalen Inventarbericht [18]; -: Keine Emissionen / B: Eingespeiste Strommengen Biogas S: Statistisches Landesamt (mit Angabe der jeweiligen Statistik).

Veränderung von Milchproduktion, Zubau von Energiepflanzen- und Güllevergärung

Neben dem Rückgang der Viehzahlen ist vor allem der Ausbau der landwirtschaftlichen Biogasproduktion relevant für die Veränderung von Methanemissionen²⁹. Die Milchviehzahlen haben sich gegenüber 1990 mehr als halbiert. Gegenüber dem Jahr 2005 ist ein Rückgang von über 13 % zu verzeichnen. Gleichzeitig sind seit dem Jahr 2005 immer größere Anteile der Ausscheidungen in Biogasanlagen vergoren worden. Die Spezifika der Milchproduktion in Sachsen-Anhalt, d. h. sehr geringe Anteile von güllebasierten Systemen ohne Vergärung, bedingen insgesamt gegenüber dem Bundesdurchschnitt sehr geringe Emissionen je Tierplatz. Emissionsfaktoren liegen in diesem Bereich bei nur einem Drittel des Bundesdurchschnitts.

Im Jahr 2016 wurden nach Angaben des Thünen-Instituts etwa 62 % der Wirtschaftsdünger aus der Milchproduktion und etwa 56 % der Wirtschaftsdünger aus der Schweineproduktion zur Biogasproduktion eingesetzt. Die auf diese Weise veränderten Stoffströme sind der wichtigste Faktor für den Rückgang der Treibhausgasemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement.

Gleichzeitig sind Methanemissionen aus der Energiepflanzenvergärung in einem ähnlichen Umfang angestiegen. Ursächlich sind die im Zuge des Ausbaus der Bioenergieproduktion

²⁹ Die Emissionsminderung der durch die Biogasproduktion gewonnenen Energie wird im Sektor „Energiewirtschaft“ berücksichtigt.

stark gestiegenen Energiepflanzensubstratmengen in nicht vollständig gasdichten Biogas-Fermentern und Gärrestlagern [18]. Laut Thünen-Institut wurden im Jahr 2016 Energiepflanzen im Umfang von etwa 1,4 Mio. t Trockenmasse in Sachsen-Anhalt vergoren. Für die Methanemissionen insgesamt ist nur ein leichter Rückgang zu verzeichnen.

Veränderung der Stickstoffkreisläufe: Mit den steigenden Energiepflanzensubstratmengen sind auch die jährlichen Mengen des organisch gebundenen und wieder ausgebrachten Stickstoffs gestiegen. Diese bewirkten eine Veränderung der Lachgasemissionen aus N-Düngern. Mehr ausgebrachte organische Düngemittel führten zu höheren N₂O-Emissionen. Gleichzeitig konnte der Einsatz von mineralischem Dünger reduziert werden. Dies erklärt einen Teil der jeweils sinkenden (aus Mineraldüngeranwendung) bzw. steigenden (aus Gärrestausrückführung) Lachgasemissionen.

Die Lachgasemissionen aus der N-Mineraldüngeranwendung waren im Jahr 2018 deutlich geringer als in den Jahren davor. Dies ist auf einen weiteren Effekt zurückzuführen: Die Dürre des Jahres ging mit deutlich geringeren Ertragserwartungen und folglich einer geringeren Stickstoffdüngung einher. Diese macht sich zusätzlich in der Datenreihe bemerkbar.

Schätzung der Jahre 2019 und 2020: In den Jahren 2019 und 2020 bleiben die Emissionen vergleichsweise niedrig. Das ist mit einem weiterhin sehr geringen Absatz von Mineraldüngermengen und weiter abnehmenden Rinderbeständen zu erklären. Auch waren landwirtschaftliche Erträge verglichen mit den Jahren vor 2018 auf niedrigem Niveau.

3.4.2 Einordnung und jüngere Neuerungen

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die verwendeten Daten des Thünen-Instituts technische Zusammenhänge der sachsen-anhaltischen Landwirtschaft (z. B. Technik bei der Wirtschaftsdünger-Lagerung und –Ausbringung [18]) mit relativ guter Datenqualität beschreiben.

Für die Einschätzung der Datenqualität wird davon ausgegangen, dass die durch das Thünen-Institut vorgenommenen Sicherheitseinschätzungen der Emissionsbereiche in Größenordnung und vor allem in ihren Relationen zueinander auf Sachsen-Anhalt übertragbar sind.

Als relativ sicher werden demnach die Emissionseinschätzung für die CO₂-Emissionen (Düngung mit Kalk, Harnstoff und sonstigen kalkhaltigen Düngern) sowie für die Methanemissionen (Fermentation bei der Verdauung, Wirtschaftsdünger-Management und Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen) bewertet.

Höhere Unsicherheitswerte wurden für den Bereich der Lachgasemissionen angegeben. Die Emissionsfaktoren sind Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen und variieren in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen sehr stark. Zudem erlaubt eine Ableitung auf Basis der gültigen Methodik auf Basis der verkauften Düngermengen keine Aussage über die Effizienz der Düngung.

Für die Situation in Sachsen-Anhalt kommt hinzu, dass die vom Thünen-Institut auf Landesebene berechneten Daten vor allem wegen der Nichtberücksichtigung der grenzüberschreitenden Mengen an verkauftem Dünger mit Vorbehalt zu betrachten sind.

In den jüngeren Daten wurden Emissionsfaktoren für Lachgas aus Stickstoffdünger regionalspezifische Faktoren unterstellt, die deutschlandweit, insbesondere aber in Sachsen-Anhalt dazu führten, dass das Niveau der Emissionen insgesamt geringer ausfällt (Seit der „Aktualisierung 2021“. Die Schätzung des Vorjahres wurde in der „Aktualisierung 2022“ auf ein einfacheres Verfahren umgestellt, welches nur marginal unsichere Werte liefert.)

3.5 Abfall- und Abwasserwirtschaft (CRF-Sektor 5)

In diesem Sektor werden die Emissionen aus der klassischen Deponierung von Abfällen (5 A) sowie aus der Behandlung von Abwässern (5 D) berichtet. In den vergangenen Jahren haben sich vor allem Abfallbehandlungsmethoden für biologisch abbaubare Anteile des Mülls verändert. Aus diesem Grund werden zudem Emissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA, 5 E), der Kompostierung und der Abfallvergärung (5 B) berücksichtigt. Treibhausgasemissionen aus der Abfallverbrennung werden im Sektor Energiewirtschaft berichtet.

Es wird die Aufgliederung der UGRdL verwendet. Da diese einen hohen Zeitverzug von drei Jahren aufweist, müssen drei Jahre geschätzt werden, wofür der letzte verfügbare Anteilswert an den bundesdeutschen Emissionen auf die Werte der Vorjahresschätzung des Bundes bezogen wird.

Tabelle 6: Sektorengliederung des Sektors Abfall- und Abwasserwirtschaft und verwendete Datenquellen

| Sektor | Bezeichnung | Datenquelle | | | Schätzung 2020- 2022 |
|--------|--|-----------------|-----------------|------------------|----------------------------|
| | | Bis 2019 | | | |
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | |
| 5 A | Abfalldeponierung | - | S-U** | - | V: |
| 5 B | Bioabfallbehandlung | - | S-U | S-U** | |
| 5 B 1 | Kompostierungsanlagen | | | | |
| 5 B 2 | Vergärungsanlagen | | | | |
| 5 D | Abwasserbehandlung | - | S-U** | S-U** | |
| 5 E | Mechanisch-biologische Abfallbehandlung | - | S-U** | S-U** | |

Legende: S-U: Eigenberechnung auf Basis Statistisches Landesamt, UGRdL, neue GWP Faktoren [6], Grundlage NIR 2023; „-“: Keine Emissionen. **: Aufgrund statistischer Geheimhaltung nur als Summenwert verfügbar. V- Eigene Schätzung auf Basis von Bundestrends/ Vorjahresschätzung des Bundes

3.5.1 Emissionsquellen und verwendete Daten

Emissionen aus Abfalldeponien

Bei der Zersetzung organischer Materialien in Deponien entsteht im anaeroben Milieu u. a. Methan. Solche Abbauprozesse organischer Materie finden in Abhängigkeit der Verhältnisse im Deponiekörper mit zeitlichem Versatz und exponentiell abnehmend statt (entsprechend einer Halbwertszeit) [1]. Modelle zur Bestimmung der entstehenden CH₄-Mengen sind daher auf Informationen zu den in der Vergangenheit deponierten organischen Materialien angewiesen.

In der ehemaligen DDR waren die Siedlungsabfälle durch einen geringen Anteil an biologisch abbaubaren Materialien und hohe anorganische Fraktionen (Asche aus dem Hausbrand) charakterisiert. Nahrungsmittelreste wurden gesammelt und als Futtermittel verwendet. Holz wurde häufig in Öfen zu Heiz- und Kochzwecken verfeuert und Papier über Annahmestellen erfasst. Nach der politischen Wende veränderten sich die Konsummuster und entsprechend auch die Abfallmengen.

In der Abfallwirtschaft der gesamten Bundesrepublik wurden in der Zeit seit 1990 eine Reihe von gesetzlichen Regelungen erlassen und Maßnahmen in die Wege geleitet, welche die Entwicklung der Emissionen aus der Deponierung stark beeinflusst haben. Dazu gehörten:

- verstärkte Sammlung von Bioabfällen und anderen Wertstoffen wie z. B. Papier/Pappe
- getrennte Sammlung von Verpackungen und deren Verwertung
- Ausweitung der Verbrennung von Siedlungsabfällen
- Einführung der mechanisch-biologischen Behandlung von Restabfällen.

Viele Mülldeponien wurden in Sachsen-Anhalt ab 1990 geschlossen. Weiter zu betreibende Anlagen wurden saniert und nach dem Standard des bundesdeutschen Abfallrechts ausgebaut sowie Standorte für moderne Anlagen gesucht. Strenge rechtliche Anforderungen verlangen technische Einrichtungen zur Fassung und Behandlung des Deponiegases und gewährleisteten eine weitgehende Minderung der Methanemissionen.

Seit 2005 ist die Deponierung von unbehandelten biologisch abbaubaren Abfällen nicht mehr zugelassen (entsprechend TA Siedlungsabfall bzw. Abfallablagerungsverordnung). Zur Einhaltung dieser Anforderungen ist eine Vorbehandlung der Siedlungsabfälle und anderer biologisch abbaubarer Abfälle durch thermische oder mechanisch-biologische Verfahren erforderlich. Aus der Ablagerung danach tragen nur noch wenige Abfallkomponenten mit geringem Methanbildungspotenzial zur Deponiegasbildung bei.

Durch die UGRdL werden Emissionen aus dem Bereich Abfall für Sachsen-Anhalt berechnet und veröffentlicht. Diese beruhen auf den bundesweit ermittelten Werten des nationalen Inventarberichtes und einer Zuordnung auf die Bundesländer anhand von emissionsrelevanten Mengen.

Zur Ermittlung der emissionsrelevanten Mengen auf Abfalldeponien wird die Menge der jeweils in den vergangenen Jahren deponierten organischen Abfälle aus der Abfallstatistik

selektiert. Anhand von Halbwertszeiten werden die deponierten Mengen in ihrer Emissionsrelevanz für das betreffende Berichtsjahr eingeschätzt und bundesweite Werte entsprechend auf die Bundesländer aufgegliedert.³⁰

Emissionen aus Kompostierungsanlagen, mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen, Vergärungs- und Biogasanlagen

Auch die neueren Behandlungspfade für organische Abfälle weisen klimarelevante Emissionen auf, wenn auch in deutlich geringerem Umfang. Relevant sind neben Methan- auch Lachgasemissionen (CH₄ und N₂O).

Verwendet werden ebenfalls Daten der UGRdL. Dabei handelt es sich um die auf Bundesebene ermittelten Werte, die anhand der jeweils in den Bundesländern kompostierten Abfallmenge, dem Einsatz in mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen bzw. dem Einsatz von organischen Abfällen in Biogasanlagen auf die Länder aufgegliedert werden.

Emissionen aus der Abwasserbehandlung

Emissionen aus der Abwasserbehandlung umfassen sowohl kommunale als auch industrielle Quellen. So wie auch die Abfallbehandlung unterlag der Bereich in umfangreichem Maße einer technischen Modernisierung.

So wurde die in der DDR praktizierte offene Schlammfäulung in den neuen Bundesländern ab 1994 vollständig ersetzt. Der Anteil der an die öffentliche Kanalisation und moderne Kläranlagen angeschlossenen Einwohner stieg seit 1998 um über 16 Prozentpunkte auf 95,5 %³¹. Beides hat zu einer Minderung der Methanemissionen beigetragen.

Heute stellt die Behandlung im Faulturm (mit vor- bzw. nachgelagerter maschineller Entwässerung) das überwiegende Behandlungsverfahren dar. Um eine unkontrollierte Fäulung zu verhindern erfolgt eine Schlammstabilisierung – bei kleinen Anlagen (<10.000 Einwohnerwerte) in der Regel aerob unter Energieeinsatz, bei größeren Anlagen (>30.000 Einwohnerwerte) in der Regel anaerob unter Gewinnung von Faulgas mit hohem Methananteil. Das entstehende Gas wird meist energetisch in Blockheizkraftwerken genutzt. Bei Anlagen, bei denen eine energetische Nutzung nicht wirtschaftlich ist, wird das Gas abgefackelt. Das gilt auch bei technischen Störungen.

Lachgasemissionen entstehen als Nebenprodukt der Abwasserbehandlung insbesondere bei der Denitrifikation. Bei den aus Nitrat entstehenden Gasen handelt es sich aber hauptsächlich um molekularen Stickstoff. Die N₂O-Emissionen aus der Abwasserbehandlung spielen in der Gesamtschau somit praktisch nur eine untergeordnete Rolle.

³⁰ Über PRTR-Berichte stehen ebenfalls Werte von sechs größeren Deponien in Sachsen-Anhalt zur Verfügung (Kriterium > 10 t/d Aufnahmekapazität oder > 25.000 t Gesamtkapazität, Jahresemissionen >100 t CH₄; vgl. thru.de). Die dort berichteten Emissionen in Höhe von ca. 40 t CO₂e entsprechen nur einem Teil der in diesem Bericht erfassten Gesamtemissionen.

³¹<https://statistik.sachsen-anhalt.de/index.php?id=54536>, letzter Zugriff: 13.06.2019

3.5.2 Datenqualität und jüngere Neuerungen

Insgesamt ist die Datenqualität als eher gering zu beschreiben. So wirkt sich laut dem UBA die Vielfalt der verschiedenen Abfallarten negativ auf die Datensicherheit der Emissionsparameter auf. „Bei den Aktivitätsraten lassen sich höhere Unsicherheiten u. a. darauf zurückführen, dass die zugrunde gelegten statistischen Daten uneinheitliche Abfall- bzw. Verwertungsbeurteilungen nutzen.“ ([1] S.133). Auch die Aufgliederung der Werte auf die Bundesländer durch die UGRdL ist mit weiteren Einschränkungen für die Datenqualität verbunden.

Eine deutliche Verbesserung hat jüngst die Modellgrundlage des im nationalen Inventarbericht verwendeten Modells erfahren. Dies arbeitete bisher mit vergleichsweise langen Halbwertszeiten bei der Dekomposition der deponierten Organikanteile [1]. Im aktuellen Inventar wurden Erkenntnisse jüngerer Forschungsvorhaben berücksichtigt und u. a. erfasste Methananteile in Deponien und die Halbwertszeit von Holz in Deponien angepasst [2].

Aufgrund dieser Anpassung verändert sich das berichtete Niveau der Emissionen erheblich. Aus diesem Grund wurden in der „Aktualisierung 2022“ bei der Berechnung des Anteils Sachsen-Anhalts an den Bundeswerten zwar weiter die Anteilswerte der UGRdL verwendet, allerdings wurden diese Anteilswerte bereits auf die auf nationaler Ebene modellierte Zeitreihe bezogen.

Zudem wurden für sämtliche Werte – ebenfalls im Unterschied zur vorliegenden Datenbasis der UGRdL - für die Ermittlung der CO₂-Äquivalente bereits die GWP-Faktoren des Assessment Report 5 verwendet (CH₄: 28, N₂O: 265).

4 Literaturverzeichnis

- [1] *Landesregierung Sachsen-Anhalt*. Klima- und Energiekonzept des Landes Sachsen-Anhalt. 2019. Verfügbar unter: https://mwu.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MWU/Klimaschutz/00_Startseite_Klimaschutz/190205_Klima-_und_Energiekonzept_Sachsen-Anhalt.pdf (Zugriff: 26.06.2023).
- [2] *Umweltbundesamt*. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/28_2023_cc_berichterstattung_unter_der_klimarahmenkonvention.pdf (Zugriff: 23.06.2023).
- [3] *Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union*. Verordnung (EU) 2018/841 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Einbeziehung der Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft in den Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr.

- 525/2013 und des Beschlusses Nr. 529/2013/EU. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0841&from=EN> (Zugriff: 26.06.2023)
- [4] *Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt*. <https://statistik.sachsen-anhalt.de/themen/wirtschaftsbereiche/energie-und-wasserversorgung> (Stand: 23.06.2023)
- [5] *Länderarbeitskreis Energiebilanzen*. www.lak-energiebilanzen.de (Stand: 04.05.2023)
- [6] *Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder*. <https://www.statistikportal.de/de/ugrdl> (Stand: 17.11.2022)
- [7] *Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt)*. <https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/anlagenlisten/2020.pdf> (Stand: 12.05.2021)
- [8] *Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder (VGRdL)*: <https://www.statistikportal.de/de/vgrdl> (Stand: 20.04.2023).
- [9] *DESTATIS. Statistisches Bundesamt. Produzierendes Gewerbe. Düngemittelversorgung. Fachserie 4, Reihe 8.2*: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Fachstatistiken/duengemittelversorgung-jahr-2040820207004.pdf?blob=publicationFile> (Stand: 31.03.2021)
- [10] *DESTATIS. Statistisches Bundesamt. Land und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehbestand. Fachserie 3, Reihe 4.1*: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Publikationen/Downloads-Tiere-und-tierische-Erzeugung/viehbestand-2030410205324.pdf?blob=publicationFile> (Stand: 30.03.2021)
- [11] *Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt*. Tabellen Wachstumsstand und Ernte. <https://statistik.sachsen-anhalt.de/themen/wirtschaftsbereiche/land-und-forstwirtschaft-fischerei/tabellen-wachstumsstand-und-ernte/> (Stand: 30.03.2021)
- [12] *Umweltbundesamt*. https://www.umweltbundesamt.de/search/content/2021_03_10_trendtabellen_thg_nach_sektoren?keys=2021_03_10_trendtabellen_thg_nach_sektoren
- [13] *Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt*. Statistische Berichte E / IV / 401. Produzierendes Gewerbe, Handwerk Energie- und Wasserversorgung Jahr 2018. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/STHeft_mods_00010732 (Stand: 21.01.2021)
- [14] *Voigtländer C., Bohnenschäfer W., Erfurt I., Reichmuth M.* Potenziale zur Reduktion des Endenergieverbrauchs in Sachsen-Anhalt. 2017. https://lena.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Sonstige_Webprojekte/Lena/Veranstaltungen/Pressefreuehstueck_EneffPot/IE_2017-04-28_EnEffPot_Zusammenfassung_Bericht.pdf (Stand: 04.07.2019)
- [15] *Ziesing H.-J., Rohde C., Kleeberger H., Hardi L., Geiger B., Frondel M., Janßen-Timmen R., Sommer S.* Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2016. 2017. <https://aq-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/anwendungsbilanzen/> (Zugriff 26.06.2023)

- [16] *AG Energiebilanzen*. Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020. 2021. https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2020_20210406b_dt.pdf (Stand: 29.04.2021)
- [17] *Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt*. Bestimmte klimawirksame Stoffe, statistischer Bericht. Unterschiedliche Jahre. <https://statistik.sachsen-anhalt.de/themen/bautaetigkeit-und-wohnen-umwelt/umwelt/tabellen-umwelt/> (Stand: 04.07.2019)
- [18] *Rösemann C., Vos C., Haenel H.-D., Dämmgen U., Döring U., Wulf S., Eurich-Menden B., Freibauer A., Döhler H., Steuer B., Osterburg B., Fuß R.* Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2021: Report on methods and data (RMD) Submission 2023. Braunschweig. Johann Heinrich von Thünen Institut (Hrsg.); 2023 <https://git-dmz.thuenen.de/vos/EmissionsAgriculture2023> (Stand: 26.06.2023)
- [19] *Umweltbundesamt* 2023. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change2023. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2021. Verfügbar unter: https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envy8fz9q (Stand: 04.05.2023)
- [20] *Stegmann, R., Heyer, K.-U., Hupe, K., Rettenberger, G., & Schneider, R.* (2018). Überprüfung der methodischen Grundlagen zur Bestimmung der Methanbildung in Deponien – Endbericht, zit. in [1]
- [21] *Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt)*. https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/anlagenlisten/2021.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Stand: 23.06.2023)

Anhang 1: Vorgenommene vereinfachte Strukturierung des verarbeitenden Gewerbes

| Terminus in Tabelle 2 | Bis 2008 (WZ 2003) | Ab 2008 (WZ 2008) |
|--|--|---|
| Ernährung | Ernährungsgewerbe | Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln, Getränkeherstellung |
| Holzgewerbe | Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln) | Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Herstellung von Möbeln) |
| Papier und Druck | Papiergewerbe, Verlagsgewerbe, Druckgewerbe, Vervielfältigung | Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus; Herstellung von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern |
| Chemische Industrie | Herstellung von chemischen Erzeugnissen | Herstellung von chemischen Grundstoffen; Sonstige Herstellung von chemischen Erzeugnissen |
| Gummi und Kunststoff | Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren | Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren |
| Glas, Keramik, Verarbeitung Steine und Erden | Glasgewerbe, Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden | Herstellung von Glas und Glaswaren, keramischen Werkstoffen und Waren, keramischen Baumaterialien; Sonstige Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden |
| Metallerzeugung und -bearbeitung | Metallerzeugung und -Bearbeitung | Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegerungen; Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen, Gießereien; Sonstige Metallerzeugung und -bearbeitung |
| Metallerzeugnisse | Herstellung von Metallerzeugnissen | Herstellung von Metallerzeugnissen |
| Sonstige | Sämtliche Wirtschaftszweige, die in der Energiebilanz unter "Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe" aufgeführt und nicht anderweitig berücksichtigt sind." | |