

Klimaschutzszenarien 2050: Modellierung, Analyse und Vergleich von Zielszenarien - Sektor Abfallwirtschaft

Sektor Abfallwirtschaft

Berlin, Juli 2024

Autorinnen und Autoren

Öko-Institut e.V.
Dr. Sylvie Ludig
Margarethe Scheffler

Öko-Institut e.V.
Büro Berlin
Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Kontakt
info@oeko.de
www.oeko.de

Fraunhofer ISI
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Telefon +49 721 6809-272

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Zusammenfassung	6
1 Einleitung	7
2 Vorgehen und Methode	7
2.1 Abgrenzung des Sektors	7
2.2 Szenarien	7
3 Ausgestaltung Instrumente	8
4 Folgenabschätzung	9
4.1 THG-Emissionen	9
4.2 Endenergieverbrauch	11
4.3 Strukturelle Entwicklung	11
4.4 Sektorale ökonomische Folgen	12
5 Kernbotschaften	14
Literaturverzeichnis	15
Anhang I. Modellbeschreibung	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der THG-Emissionen im Abfallsektor	10
Abbildung 2: Vergleich Entwicklung Bioabfallbehandlung in neuen Vergärungsanlagen	12
Abbildung 3: Investitionen und Investitionszuschüsse	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Instrumente in den Szenarien KS1 bis KS4	8
Tabelle 2: Anzahl Deponien mit In-Situ-Belüftung im Vergleich der Szenarien	11
Tabelle 3: Entwicklung Anteil Vergärung im Vergleich der Szenarien	12

Abkürzungsverzeichnis

CH ₄	Methan
CRF	Common Reporting Format, Gemeinsames Berichtsformat für Treibhausgasinventare
dm	Dry matter, Trockenmasse
ETS	Emission Trading Scheme, Europäisches Emissionshandelssystem
FM	Frischmasse
GHD	Gewerbe/Handel/Dienstleistungen
KS	Klimaschutzszenario
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
LULUCF	Land Use, Land Use-Change and Forestry, Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
N ₂ O	Lachgas
nEHS	Nationales Emissionshandelssystem
NKI	Nationale Klimaschutzinitiative
PB 2023	Projektionsbericht 2023
PtJ	Projektträger Jülich
REF	Referenzszenario
THG	Treibhausgas

Zusammenfassung

Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden die nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft adressiert. Dazu zählen die Methanemissionen aus der Deponierung von Abfällen, Methan- und Lachgasemissionen aus der biologischen Abfallbehandlung und aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Zudem werden Methan- und Lachgasemissionen aus der Abwasserbehandlung berücksichtigt. Emissionen, die durch die Nutzung von Abfällen zur Strom- und Wärmeerzeugung entstehen, werden in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie bilanziert. Auch der Einfluss von verstärkten Recycling-Maßnahmen auf die Verfügbarkeit von Abfällen zur Stromerzeugung oder auf die Produktion von Materialien wird entsprechend in den Modellierungen der Sektoren Energiewirtschaft oder Industrie abgebildet.

Eine vollständige Dekarbonisierung des Abfallsektors ist wegen der kontinuierlich ablaufenden biologischen Prozesse nicht möglich. Auch wenn implementierte Maßnahmen dazu führen, dass die Emissionen aus abgelagerten Abfällen sowie bei der Abwasserbehandlung minimiert werden, verbleiben weiterhin Emissionen. Eine Minimierung der entstehenden Abfälle und Abwässer ist wichtig, um die Emissionen so weit wie möglich zu verringern.

Aufgrund der Besonderheiten des Abfallsektors und der begrenzten Möglichkeiten zur Emissionsreduktion, werden, abweichend zum Vorgehen für andere Sektoren, hier in allen untersuchten Szenarien die gleichen Maßnahmen umgesetzt. Lediglich die Instrumentierung wurde verändert, um zu ermitteln, welchen Einfluss die Umsetzung auf die entstehenden Kosten nimmt.

Im Bereich der Deponien wird zur Minderung der Treibhausgasemissionen in zwei Stufen vorgegangen: zunächst erfolgt eine Erfassung der entstehenden Deponiegase und deren Nutzung im Bereich der Energieerzeugung. Die nachfolgende Belüftung von Deponien zielt darauf ab, das weiterhin in geringerer Konzentration entstehende Methan in CO₂ umzuwandeln und damit die Treibhausgaswirkung zu verringern.

Der Betrieb von Siedungsabfalldeponien und die damit verbundenen Kosten liegen im Bereich der Kommunen. Da diese nur ein begrenztes Haushaltsbudget haben, erleichtert die Förderung unter der Kommunalrichtlinie es diesen, Deponiebelüftungsmaßnahmen zu implementieren. Diese Maßnahmen sind für die Betreiber immer mit zusätzlichen Kosten verbunden, da sie zwar Treibhausgasemissionen einsparen, aber andererseits den Energiebedarf erhöhen.

Im Bereich der Abwasserbehandlung sind die Potenziale weiterer Emissionsminderungen gering. Die Anschlussraten an die Kanalisation sind in Deutschland hoch (>95%) und die Kläranlagen weisen mehrheitlich nur geringe Restemissionen auf. Das Potenzial für die Reduzierung von Lachgasemissionen im Abwasserbereich durch eine geringere Proteinaufnahme bei der Ernährung ist ebenfalls begrenzt.

1 Einleitung

Im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges werden die nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft adressiert. Betrachtet werden somit nur Emissionen, welche durch die Behandlung und Ablagerung von Abfällen entstehen, sowie bei der Abwasserbehandlung. Vor allem im Bereich der Deponierung wurden die Emissionen bereits zwischen 1990 und 2019 signifikant reduziert und eine Minderung von knapp 80 % erreicht. Im Vergleich zu anderen hat dieser Sektor damit bereits in der Vergangenheit die höchste Minderung erreicht. In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, mit welchen Maßnahmen weitere Minderungen erreicht werden und wie diese in Form von Instrumenten implementiert werden können (Abschnitt 3). In den Abschnitten 4 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** werden die ökonomischen und sozialen Folgen diskutiert und in Abschnitt 5 als Kernbotschaften zusammengefasst.

2 Vorgehen und Methode

2.1 Abgrenzung des Sektors

Entsprechend der Systematik des Nationalen Treibhausgasinventars werden im Folgenden die Treibhausgasemissionen der CRF-Kategorie 5 adressiert¹. Dazu zählen die Methanemissionen aus der Ablagerung von Abfällen (insbesondere auf sog. Altdeponien), Methan- und Lachgasemissionen aus der biologischen Abfallbehandlung, sowie aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Zudem werden Methan- und Lachgasemissionen aus der Abwasserbehandlung berücksichtigt.

Einige Aktivitäten im Abfallbereich, wie der Betrieb von Müllverbrennungsanlagen oder Recyclingmaßnahmen führen i.d.R. zu Emissionen oder Einsparungen in anderen Sektoren. Emissionsreduktionen durch die Steigerung des Recycling-Anteils beispielsweise wirken sich nicht auf die Treibhausgasemissionen im Sektor Abfall (CRF-Kategorie 5) aus, sondern in den Sektoren Energie und Industrie, wenn z.B. aufgrund zunehmender Anteile beim Recycling weniger dieser Abfälle verbrannt werden. Maßnahmen wie das Verpackungsgesetz oder auch die Gewerbeabfallverordnung werden daher nicht im Bereich der Abfallwirtschaft (CRF-Kategorie 5) analysiert, sondern werden in den Sektoren Energie und Industrie mitbilanziert.

2.2 Szenarien

Es wurden für dieses Projekt vier Klimaschutzszenarien (KS) entwickelt, die alle das Ziel verfolgen, bis 2045 über alle Sektoren hinweg Treibhausgasneutralität zu erreichen. Alle vier Szenarien gehen vom Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des Prognosberichts 2023 (PB 2023, Harthan et al. 2023) aus und bis 2030 wurde der Policy-Mix des MMS im Wesentlichen übernommen. Danach unterscheiden sich die Szenarien in der Ausgestaltung der zugrunde gelegten Politiken und Maßnahmen. Das MMS dient zudem als Referenzszenario (REF) für den Vergleich der unterschiedlichen Wirkungen der untersuchten Klimaschutzszenarien.

¹ In der Abgrenzung des Bundes-Klimaschutzgesetzes zählt auch die Quellgruppe CRF 6 (Sonstige) zum Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges. Aktuell werden jedoch in Deutschland keine Emissionen in der CRF-Kategorie 6 berichtet.

Das Klimaschutzszenario 1 (KS1) ist ein Policy-Mix-Szenario und stellt eine Fortentwicklung dar. Eine wesentliche Rolle spielen in diesem Szenario Ausschreibungen und Investitionszuschüsse. Das Klimaschutzszenario 4 ist hingegen ein Szenario, welches auf Ordnungsrecht fokussiert ist.

Die Klimaschutzszenarien 2 und 3 setzen den Fokus auf eine CO₂-Bepreisung, wobei diese im Klimaschutzszenario 2 (KS2) auf das Europäische Emissionshandelssystem (ETS) und den nationalen Emissionshandel (nEHS) beschränkt bleibt und im KS3 ein einheitliches Bepreisungssystem etabliert wird, das auch die Sektoren Landwirtschaft und LULUCF mit einschließt.

Die Emissionen des Abfallsektors werden stark von kontinuierlich ablaufenden biologischen Prozessen beeinflusst. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Maßnahmen, welche auf die Emissionsentwicklung im Sektor Einfluss nehmen können, ist begrenzt. Es gibt jedoch unterschiedliche Möglichkeiten, die Instrumentierung dieser Maßnahmen zu gestalten: so wird die im Szenario KS1 durch Mittel im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) geförderte In-Situ-Stabilisierung von Siedlungsabfalldeponien im Szenario KS4 durch Ordnungsrecht implementiert. Dabei wird jedoch angenommen, dass die Wirkung im Ergebnis gleichbleibt.

Die CO₂-Bepreisung des Szenarios KS2 wirkt nicht auf die Emissionen des Sektors Abfallwirtschaft, da wie bereits oben beschrieben, dieser nur die nicht-energiebedingten Methan- und Lachgasemissionen der CRF-Kategorie 5 umfasst. Daher wird angenommen, dass weiterhin die in KS1 eingesetzten Instrumente benötigt werden, um eine Emissionsminderung zu erreichen. Darüber hinaus wird ein Großteil der Maßnahmen zur THG-Minderung im Abfallsektor bereits bis zum Jahr 2030 implementiert. Auch für das Szenario KS3 wurde dieser Ansatz gewählt.

In Anhang I wird beschrieben, wie die im Weiteren beschriebenen Maßnahmen im verwendeten Modell implementiert werden.

3 Ausgestaltung Instrumente

Wie bereits in Abschnitt 2 beschrieben, erfolgt die Implementierung der Maßnahmen zur Emissionsminderung im Abfallsektor für alle Szenarien gleich. Es wird lediglich variiert, ob die tatsächliche Instrumentierung ökonomisch oder durch Ordnungsrecht erfolgt. Daher wird in Tabelle 1 lediglich eine Spalte für alle Szenarien dargestellt, Unterschiede in der Instrumentierung werden in der jeweiligen Tabellenzeile angegeben und unterhalb der Tabelle besprochen. Für Details zur Umsetzung im Modell, siehe auch Anhang I.

Tabelle 1: Übersicht der Instrumente in den Szenarien KS1 bis KS4

Instrumente	Alle Szenarien
Deponieverordnung und Kreislaufwirtschaftsgesetz	Durch Umsetzung der Deponieverordnung und der EU-Abfallrahmenrichtlinie wird dem Recycling eine höhere Bedeutung als der energetischen Verwertung beigemessen. Dies führt zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen in anderen Sektoren wie dem Industrie- und im Energiesektor. Bioabfälle werden schrittweise stärker getrennt gesammelt und verwertet. Durch die stärkere Getrenntsammlung aller Abfallfraktionen sinkt der Anteil der Verwertung in der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA).

Instrumente	Alle Szenarien
Ausweitung der Deponiebelüftung und Optimierung der Gaserfassung	<p>Schrittweise Ausweitung der Belüftung von Deponien in der Stilllegungsphase bis zum Erreichen der maximalen Anzahl.</p> <p>In den Szenarien KS1, KS2 und KS3 erfolgt die Implementierung dieses Instrumentes durch ökonomische Anreize: Im Rahmen der Kommunalrichtlinie unter der NKI werden Fördermittel für die In-Situ-Belüftung von Deponien sowie die optimierte Deponiegaserfassung zur Verfügung gestellt (BMWK 2023).</p> <p>Im Szenario KS4 wird Ordnungsrecht angewendet, um die Maßnahme auf allen geeigneten Deponien durchzusetzen.</p>
Vermeidung von Lebensmittelabfällen	Erreichung des Ziels der Nationalen Strategie zur Reduktion der Lebensmittelabfälle um 50 % bis zum Jahr 2030 (BMEL 2019).
Reduktion der Proteingehalte im Abwasser	Der Konsum tierischer Produkte wird verringert. Dabei sinkt die Proteinaufnahme um 10 % gegenüber heute, was zu einer Reduktion der Proteingehalte im Abwasser und damit zu einer Reduktion der Lachgasemissionen führt.
Verbesserung der Anbindung an öffentliche Kläranlagen und Verringerung von Methanschlupf	Die Anbindung der Bevölkerung an Kläranlagensysteme ist in Deutschland sehr hoch (>95 %) (BDEW 2019). Im Rahmen einer maximalen Reduzierung der Emissionen des Sektors wird die Anbindung nochmals leicht erhöht. Darüber hinaus werden in Kläranlagen geeignete Abdeckungs- und Abdichtungsvorrichtungen installiert, welche über bereits bestehende Standards hinaus ungewollte CH ₄ -Emissionen verhindern sollen.

Quelle: Eigene Annahmen, siehe auch Angaben innerhalb der Tabelle

Die Deponieverordnung² und das Kreislaufwirtschaftsgesetz³ sind in ihrer aktuellen Form bereits seit 2009 beziehungsweise 2012 in Kraft. Die Umsetzung obliegt mehrheitlich den Kommunen und führt kontinuierlich zu einer Minderung der Emissionen im Abfallsektor. Teile der Umsetzung erfolgen direkt durch die Kommunen, wie beispielsweise der Umstieg von Kompostierungs- zu Vergärungsanlagen von biogenen Abfällen. Darüber hinaus werden Kampagnen zur Information und Unterstützung der Bevölkerung bei der Getrenntsammlung von biogenen Abfällen durchgeführt.

Auch die Vermeidung von Lebensmittelabfällen und die Reduktion der Proteingehalte im Abwasser durch eine Umstellung der Ernährung basieren primär auf Informationskampagnen.

4 Folgenabschätzung

4.1 THG-Emissionen

Die Modellierung der Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft wird stark beeinflusst von der historischen Entwicklung der Emissionen in diesem Bereich. Als primäre Datenbasis wird das Treibhausgasinventar herangezogen. Die vorliegenden Ergebnisse basieren auf dem Treibhausgasinventar des Jahres 2022 (UBA 2022), welches zum Zeitpunkt der Modellierung zur Verfügung stand. In den vergangenen Jahren wurden mehrere Verbesserungen der Methodik und der Datenlage für die Ermittlung des Inventars in der Kategorie 5 (Abfallwirtschaft) durchgeführt. Diese haben zu einer Neubewertung der historischen Emissionen, v.a. in den Teilbereichen

² https://www.gesetze-im-internet.de/depv_2009/DepV.pdf

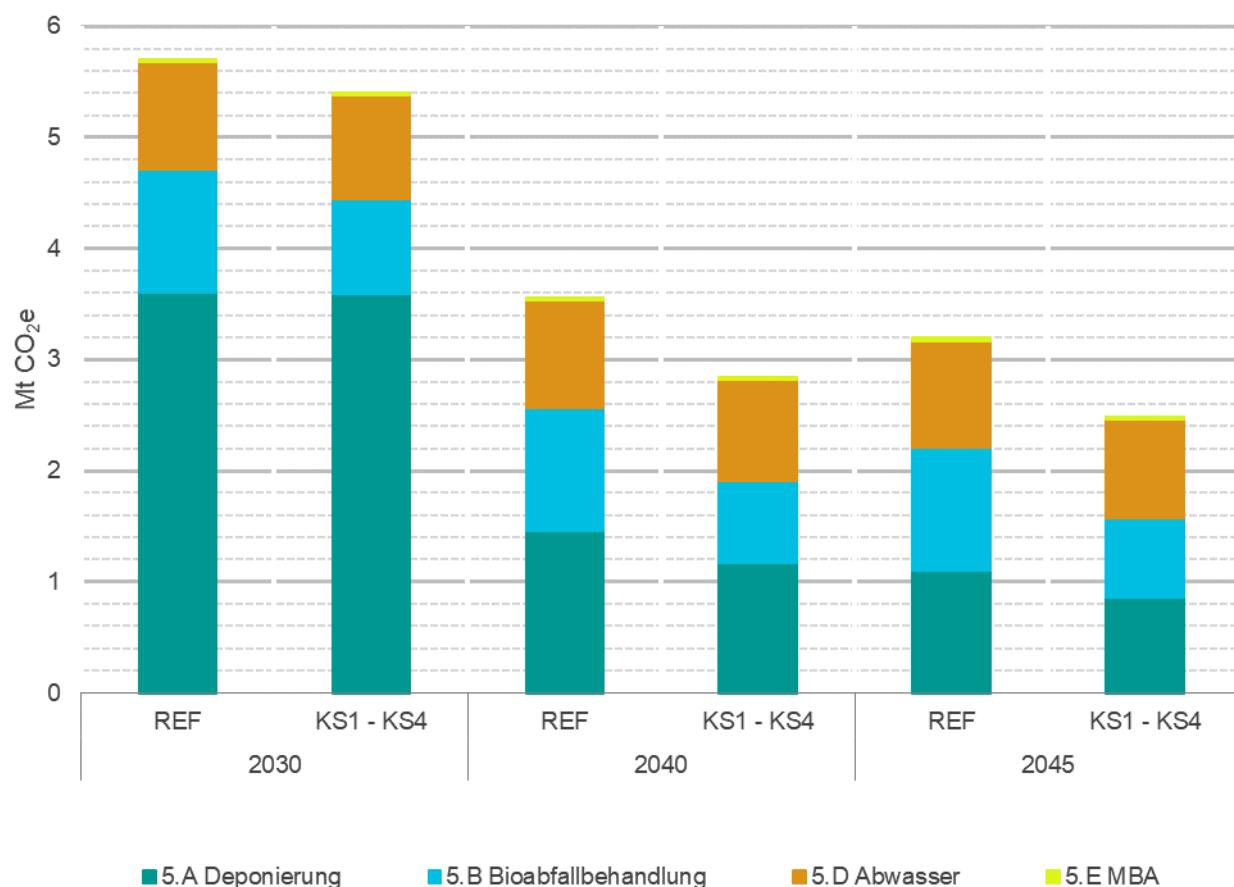
³ <https://www.gesetze-im-internet.de/krgw/KrWG.pdf>

Deponierung und Abwasserbehandlung geführt. Historische Zahlen sowie Projektionen, welche auf einem neueren Inventarstand basieren, können also von den hier im Folgenden gezeigten Werten abweichen, sogar wenn die gleiche Methodik für die Berechnung der Projektionen zugrunde gelegt wurde.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Jahre 2030, 2040 und 2045 im Abfallsektor. Wie bereits in Abschnitt 2 beschrieben, unterscheidet sich für den Abfallsektor zwar die Instrumentierung der Maßnahmen zwischen den Szenarien KS1 bis KS4, jedoch nicht ihre Wirkung auf die Emissionsentwicklung. Daher werden die Emissionen der Szenarien KS1 bis KS4 gebündelt dargestellt und den Emissionen des Referenzszenarios REF gegenübergestellt.

Wie bereits in Abschnitt 1 erläutert, wurden im Abfallsektor bereits im Zeitraum 1990 bis 2019 deutliche Minderungen erreicht und die Emissionen um 76 % reduziert. Bis zum Jahr 2030 werden im Szenario REF 86,5 % Minderung ggü. 1990 erreicht und in den KS-Szenarien 87,2 %. Im Jahr 2045 beträgt die Minderung im REF-Szenario 92 % gegenüber 1990 und in den KS-Szenarien werden 95 % erreicht.

Abbildung 1: Entwicklung der THG-Emissionen im Abfallsektor



Quelle: eigene Darstellung; Modellrechnung Öko-Institut

Die größte Teilminderung im Abfallsektor erfolgt im Bereich der Deponierung. Diese wird mehrheitlich bereits durch das Verbot der Ablagerung unbehandelter organischer Abfälle aus dem

Jahr 2005 bewirkt, was dazu führt, dass die Entwicklung auch im REF-Szenario stark sichtbar ist. Darüber hinaus wirkt die Belüftung von Siedlungsabfalldeponien und die optimierte Erfassung von Deponiegas, welche durch die Einbeziehung einer größeren Anzahl von Deponien in den KS-Szenarien auch zu einer größeren Minderung führt.

Gegenüber dem REF-Szenario ist der stärkste Minderungseffekt im Bereich der Bioabfallbehandlung sichtbar. Dieser wird bewirkt durch die Verringerung der Lebensmittelabfälle und den Umstieg von Kompostierung zur Vergärung der separat gesammelten Bioabfälle.

Im Bereich der Abwasserbehandlung werden lediglich kleine Minderungen erreicht. Die Verringerung der Proteinzufluss führt zwar zu einer Verringerung der Lachgasemissionen dieses Teilsektors, ebenso verringert eine Reduzierung von Methanschlupf bei Kläranlagen die damit verbundenen Emissionen. Die erreichte Wirkung ist jedoch klein im Vergleich zu den entstehenden Emissionen.

4.2 Endenergieverbrauch

Im Abfallsektor werden nur die nicht-energiebedingten Emissionen aus der Behandlung von Abfällen und Abwässern berücksichtigt (siehe auch Abschnitt 2). Der Energieverbrauch, welcher durch den Betrieb dieser Anlagen entsteht, wird im Bereich Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD) bzw. im KSG-Sektor Gebäude bilanziert.

Die Strom- und Wärmeerzeugung aus der Verbrennung von fossilen und biogenen Abfällen und die dabei entstehenden Emissionen werden in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie bilanziert.

4.3 Strukturelle Entwicklung

In den Jahren 2013 bis 2019 wurden unter der Kommunalrichtlinie der NKI insgesamt 58 Projekte zur In-situ-Beluftung von Siedlungsabfalldeponien gefördert. Im Szenario REF wird angenommen, dass im Zeitraum 2020-2030 weiterhin ca. 7 Projekte pro Jahr gefördert werden und zwischen 2030 und 2040 weitere 3 bis 4 Projekte pro Jahr.

Für die KS-Szenarien wird angenommen, dass auch im Zeitraum 2030-2040 7 Belüftungsprojekte pro Jahr gestartet werden können. Es wird davon ausgegangen, dass danach alle in Frage kommenden Deponien erreicht worden sind Tabelle 2 zeigt die Annahmen zur Belüftung von Siedlungsabfalldeponien in den Szenarien in Übersicht.

Tabelle 2: Anzahl Deponien mit In-Situ-Beluftung im Vergleich der Szenarien

	2013-2019	2020-2030	2030-2040
REF	58	7 pro Jahr	3-4 pro Jahr
KS1 bis KS4	58	7 pro Jahr	7 pro Jahr

Quelle: Projektdaten zur Kommunalrichtlinie der NKI, zur Verfügung gestellt durch PtJ, eigene Annahmen

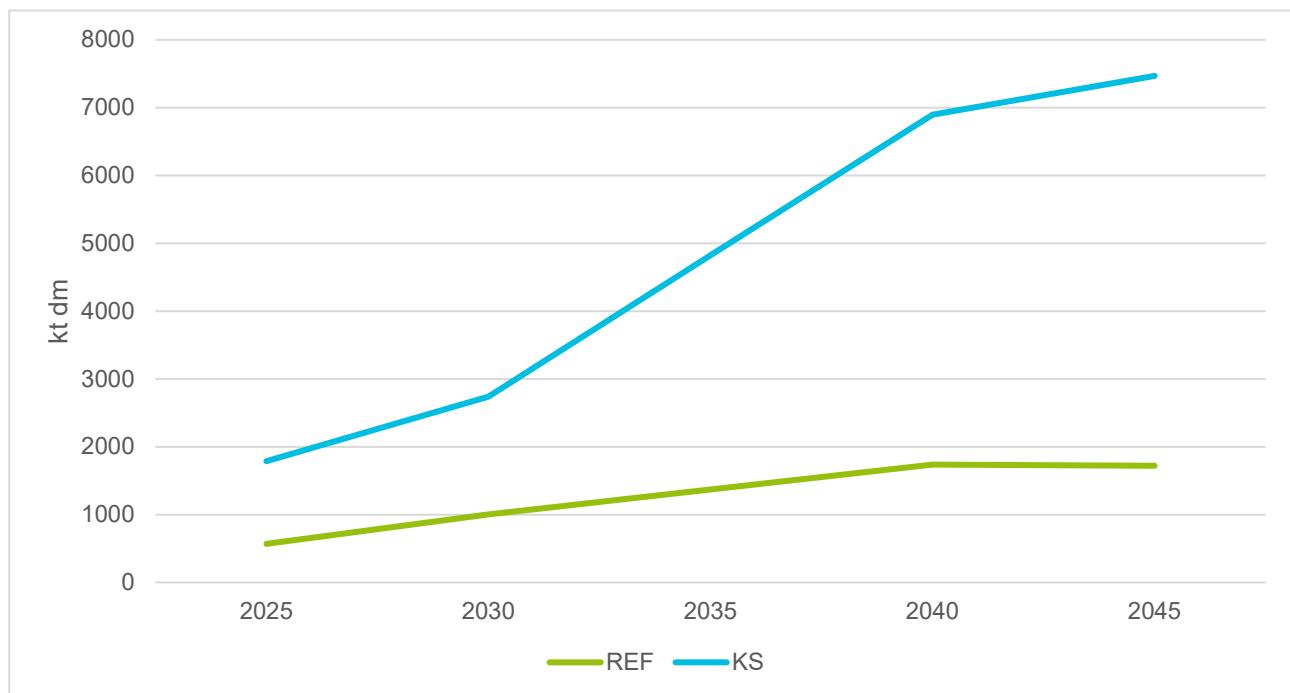
Tabelle 3 zeigt die Entwicklung des Anteils an der Vergärung von Bioabfällen im REF-Szenario und KS-Szenarien. Während im REF der Anteil an Vergärung gegenüber der Kompostierung lediglich bis 50 % im Jahr 2040 ansteigt, wird dieser Anteil in den Szenarien KS1 bis KS4 auf 70 % bis zum Jahr 2040 erhöht.

Tabelle 3: Entwicklung Anteil Vergärung im Vergleich der Szenarien

	2020	2025	2030	2035	2040	2045
REF	40%	42%	45%	47%	50%	50%
KS1 bis KS4	40%	48%	55%	63%	70%	70%

Quelle: Historische Zahlen: CRF-Tabellen THG-Inventar, Entwicklung: eigene Annahmen

Neben der stärkeren Erhöhung des Anteils an Vergärung gegenüber Kompostierung in den KS-Szenarien, werden darüber hinaus auch noch verstärkt neuere, effizientere Biogasanlagen installiert, welche gegenüber alten Anlagen geringere Emissionen haben. Dies führt zu einem zusätzlichen Anstieg der Menge an Bioabfällen, welche in neu errichteten Anlagen behandelt werden. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der behandelten Menge in neuen Anlagen im REF-Szenario gegenüber den KS-Szenarien für die Jahre 2025 bis 2045, angegeben in kt Trockenmasse (dm).

Abbildung 2: Vergleich Entwicklung Bioabfallbehandlung in neuen Vergärungsanlagen

Quelle: Eigene Annahmen

4.4 Sektorale ökonomische Folgen

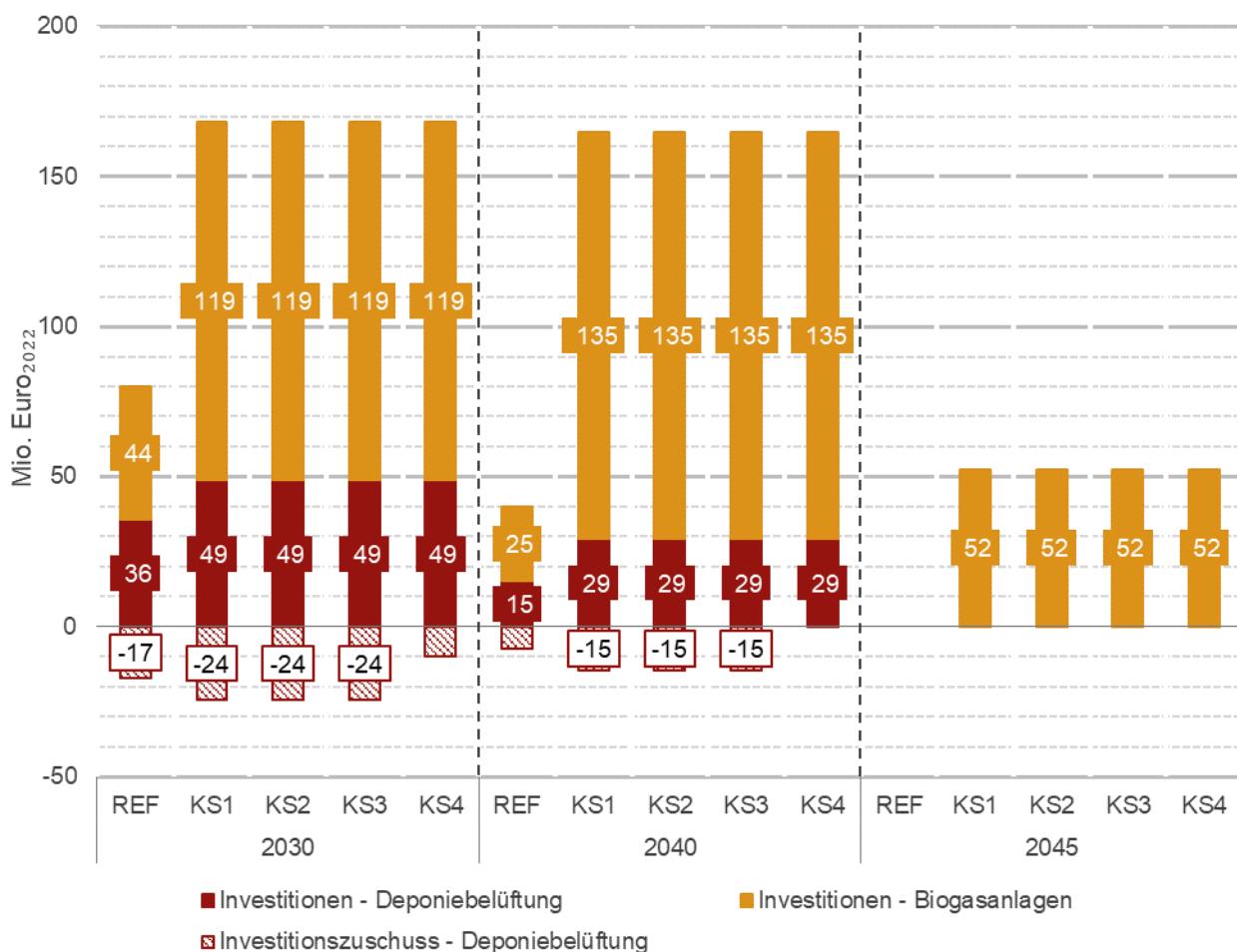
Für die Bewertung der ökonomischen Folgen der betrachteten Instrumente in den Klimaschutzszenarien werden im Folgenden die Investitionskosten dargestellt und, wo relevant, in Relation gesetzt mit Investitionszuschüssen in Form von Fördermitteln.

Projekte zur Belüftung von Deponien werden von den Kommunen umgesetzt, welche auch die Betreiberinnen der jeweiligen Deponie sind. Aktuell werden alle umgesetzten Projekte durch Investitionszuschüsse unter der Kommunalrichtlinie der NKI gefördert (BMWK 2022). Für die Ermittlung der durchschnittlichen Investitionskosten wurden Projektdaten bereits geförderter

Projekte herangezogen, welche durch das PtJ zur Verfügung gestellt wurden⁴. Laut BMWK (2022) beträgt die Förderquote bis zu 50 % der zuwendungsfähigen Ausgaben und kann für finanzschwache Kommunen bis zu 70 % betragen.

Die Vergärung von biogenen Abfällen erfolgt in Biogasanlagen. Zur Berechnung der Investitionskosten wurde eine typische Vergärungsanlage mit einer Kapazität von 5 500 t FM/a (entsprechend 500 kW_{el}) angenommen. Basierend auf FNR (2023) wurden damit Investitionskosten von 4 600 €/kW_{el} angesetzt.

Abbildung 3: Investitionen und Investitionszuschüsse



Quelle: eigene Darstellung; Modellrechnung Öko-Institut

Anmerkungen: Werte sind über 5 Jahre gemittelt (z. B. enthält 2030 den Durchschnittswert 2028-2032). Gesamtinvestitionen ohne MwSt.

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der Investitionen und Investitionszuschüsse über die Szenarien für die Jahre 2030, 2040 und 2045. Die Balken zeigen jeweils über 5 Jahre gemittelte Werte, der angegebene Wert für 2030 zeigt also den Mittelwert der jährlichen Investitionskosten der Jahre 2028 bis 2032. Die Investitionskosten für die Deponiebelüftung beträgt im REF-Szenario 36 Mio € im Jahr 2030 und noch 15 Mio € im Jahr 2040, in den KS-Szenarien steigen diese Werte auf 49 Mio € bzw.

⁴ Die detaillierten Angaben zu Ort, konkreter Investition und Förderhöhe sind vertraulich. Für eine aggregierte Übersicht über die Fördermittel für Deponiebelüftung, siehe Kenkmann et al. (2021), u.a. S.85.

29 Mio. € durch die angenommene größere Anzahl an Belüftungsprojekten (siehe auch Tabelle 2). Dem gegenüber stehen in den Szenarien KS1 bis KS3 Fördermittel in Höhe von 24 Mio. € im Jahr 2030 und 15 Mio. € im Jahr 2040. Diese entfallen ab 2030 im Szenario KS4, da, wie in Tabelle 1 beschrieben, angenommen wird, dass nach dem Auslaufen der Kommunalrichtlinie im Jahr 2029 keine weiteren Fördermittel für Deponiebelüftungsprojekte zur Verfügung gestellt werden, sondern die Deponiebelüftung mittels Ordnungsrecht verpflichtend gemacht wird.

Wie bereits in Abschnitt 4.3 beschrieben und in Abbildung 2 dargestellt, werden in den KS-Szenarien verstärkt ältere, ineffiziente Vergärungsanlagen mit höheren Emissionen durch modernere ersetzt. Dies spiegelt sich auch in den in Abbildung 3 dargestellten Investitionen: diese sind in den Jahren 2030 und 2040 mit 119 Mio. € bzw. 135 Mio. € pro Jahr deutlich höher als im REF-Szenario. Da nach dem Jahr 2040 im REF-Szenario die bestehenden Vergärungsanlagen ausreichen, um die anfallenden Mengen zu behandeln, fallen auch keine weiteren Investitionskosten in diesem Bereich an, wohingegen in den KS-Szenarien die Anzahl der Vergärungsanlagen weiter erhöht wird.

5 Kernbotschaften

Eine vollständige Dekarbonisierung des Abfallsektors ist wegen der kontinuierlich ablaufenden biologischen Prozesse nicht möglich. Auch wenn implementierte Maßnahmen dazu führen, dass die Emissionen aus abgelagerten Abfällen und bei der Abwasserbehandlung minimal sind, verbleiben weiterhin Emissionen aus historischen Ablagerungen. Eine Minimierung der entstehenden Abfälle und Abwässer ist wichtig, um die Emissionen so weit wie möglich zu verringern.

Vor allem im Bereich der Deponierung wurden die Emissionen bereits zwischen 1990 und 2019 signifikant reduziert und eine Minderung von knapp 76 % erreicht. Im Vergleich zu anderen hat der Sektor Abfallwirtschaft damit bereits in der Vergangenheit die höchste Minderung erzielt. Bis zum Jahr 2045 wird im Referenzszenario eine Minderung von 92 % gegenüber 1990 erreicht und in den KS-Szenarien können 95 % der Treibhausgasemissionen gegenüber denen des Jahres 1990 verringert werden.

Im Bereich der Deponien wird zur Minderung der Treibhausgasemissionen in zwei Stufen vorgegangen: zunächst erfolgt eine Erfassung der entstehenden Deponiegase und deren Nutzung im Bereich der Energieerzeugung. Die nachfolgende Belüftung von Deponien zielt darauf ab, das weiterhin in geringerer Konzentration entstehende Methan in CO₂ umzuwandeln und damit die Treibhausgaswirkung zu verringern.

Der Betrieb von Siedungsabfalldeponien und die damit verbundenen Kosten liegen im Bereich der Kommunen. Da diese nur ein begrenztes Haushaltsbudget haben, erleichtert die Förderung unter der Kommunalrichtlinie es diesen, Deponiebelüftungsmaßnahmen zu implementieren. Diese Maßnahmen sind für die Betreiber immer mit zusätzlichen Kosten verbunden, da sie zwar Treibhausgasemissionen einsparen, aber andererseits den Energiebedarf erhöhen.

Im Bereich der Abwasserbehandlung sind die Potenziale weiterer Emissionsminderungen gering. Die Anschlussraten an die Kanalisation sind in Deutschland hoch (>95%) und die Kläranlagen weisen mehrheitlich nur geringe Restemissionen auf. Das Potenzial für die Reduzierung von Lachgasemissionen im Abwasserbereich durch eine geringere Proteinaufnahme bei der Ernährung ist ebenfalls begrenzt.

Literaturverzeichnis

- BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2019): Abwasserdaten Deutschland, Strukturdaten der Abwasserentsorgung. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/media/documents/Ansicht_bdew_broschuere_abwasserdaten.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2024.
- BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019): Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendungen. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittelverschwendungen/Nationale_Strategie_Lebensmittelverschwendungen_2019.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2024.
- BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022): Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld "Kommunalrichtlinie" (KRL), im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI). Online verfügbar unter https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/mediathek/dokumente/20221101_NKI_Kommunalrichtlinie.pdf, zuletzt geprüft am 02.07.2024.
- BMWK - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hg.) (2023): Kommunalrichtlinie, Strategie der Bundesförderung im kommunalen Klimaschutz. Berlin. Online verfügbar unter https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/mediathek/dokumente/BMWK_Kommunalrichtlinie_Strategie_Bundesförderung_2023_barrierefrei_1.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2024.
- FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hg.) (2023): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2024, Diagramme. Tabellen. Kennwerte. Online verfügbar unter https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2023/Mediathek/Broschuere_Basisdaten_Bioenergie_2023_web.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2024.
- Harthan, R. O.; Förster, H.; Borkowski, K.; Böttcher, H.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Emele, L.; Görz, W. K.; Hennenberg, K.; Jansen, L. L.; Jörß, W.; Kasten, P.; Loreck, C. et al. (2023): Projektionsbericht 2023 für Deutschland (2. Auflage) (Climate Change, 39/2023). Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau.
- Kenkmann, T.; Braungardt, S.; Loschke, C.; Eisenmann, L.; Muckenfuß, L. (2021): Evaluierung der Nationalen Klimaschutzinitiative, Kommunalrichtlinie (KRL) Evaluierungszeitraum 2018-2019. Evaluierungsbericht. Unter Mitarbeit von Winger, C. und Friedrich, A. Freiburg/Heidelberg. Online verfügbar unter https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/mediathek/dokumente/A1%20Kommunalrichtlinie_Eval_2019.pdf, zuletzt geprüft am 02.07.2024.
- UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2022): National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990-2020. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/461930>, zuletzt geprüft am 18.07.2024.

Anhang I. Modellbeschreibung

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Abfallsektor erfolgt mit dem Waste_Mod-Modell des Öko-Instituts. In dem modularen Abfallmodell werden alle Emissionskategorien der UNFCCC-Berichterstattung abgebildet.

Das erste Modul berechnet die Emissionen aus der Ablagerung von Abfällen auf Deponien basierend auf dem vom IPCC entwickelten und vom Öko-Institut erweiterten Multi-Phasen-Abfallmodell. Darin wird die aktuelle Situation der Altdeponien auf der Basis der in der Vergangenheit erfolgten Ablagerungen von Abfällen, deren Zusammensetzung und Potenzial zur Bildung von Treibhausgasemissionen ebenso berücksichtigt, wie der Stand der Umsetzung der Abfälle und die bisher schon entstandenen Emissionen. Die Berechnung der Emissionseinsparungen durch die Deponiebelüftung erfolgt nach einer im Auftrag des UBA ermittelten Methodik zur Berechnung der aeroben In-situ-Stabilisierung von Deponien. In der Modellierung werden die ausgewiesenen Emissionsreduktionen aus den Daten des PtJ zur Treibhausgasminderung aus der Deponiebelüftung anteilig auf die Entwicklung des Anteils des Degradable Organic Carbons (DOCm) des Abfallmodells umgelegt.

Im zweiten Modul werden die Emissionen aus der biologischen Abfallbehandlung berechnet. Die Daten zu Emissionen aus Bioabfallbehandlungsanlagen werden in Bezug zum Anlagendurchsatz berechnet. Hierzu werden die während der Bearbeitung vorliegenden aktuellen Daten zur Abfallstatistik des Statistischen Bundesamts und aktuelle Studien zur Anlagentechnik ausgewertet. Die Entwicklung des Anlagendurchsatzes erfolgt in Abhängigkeit von umgesetzten oder geplanten Maßnahmen zur getrennten Erfassung und Verwertung von Abfällen im Rahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, wird aber auch beeinflusst von Maßnahmen zur Reduktion von Lebensmittelabfällen. Für die Emissionen aus den Anlagen der Bioabfallbehandlung werden die in Kompostierungs- und Vergärungsanlagen eingesetzten Mengen mit den jeweiligen Emissionsfaktoren aus dem aktuellen Treibhausgasinventar für Methan und Lachgas verknüpft.

Im dritten Modul werden für die Unterquellgruppen kommunale und industrielle Abwasserbehandlung die Rahmendaten pro Person eingesetzt und die Emissionsfaktoren aus dem aktuellen Inventarbericht entsprechend der Annahmen zur Entwicklung der Protein aufnahme und dem Anschlussgrad an die öffentliche Kanalisation fortgeschrieben. Zusätzlich können Minderungswirkungen von Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen in der Abwasserbehandlung berücksichtigt werden. In der Modellierung werden die ausgewiesenen Emissionsreduktionen aus den Daten des PtJ zur Treibhausgasminderung aus der Abwasserbehandlung berücksichtigt und auf die Wirkungsjahre der Maßnahme umgelegt.