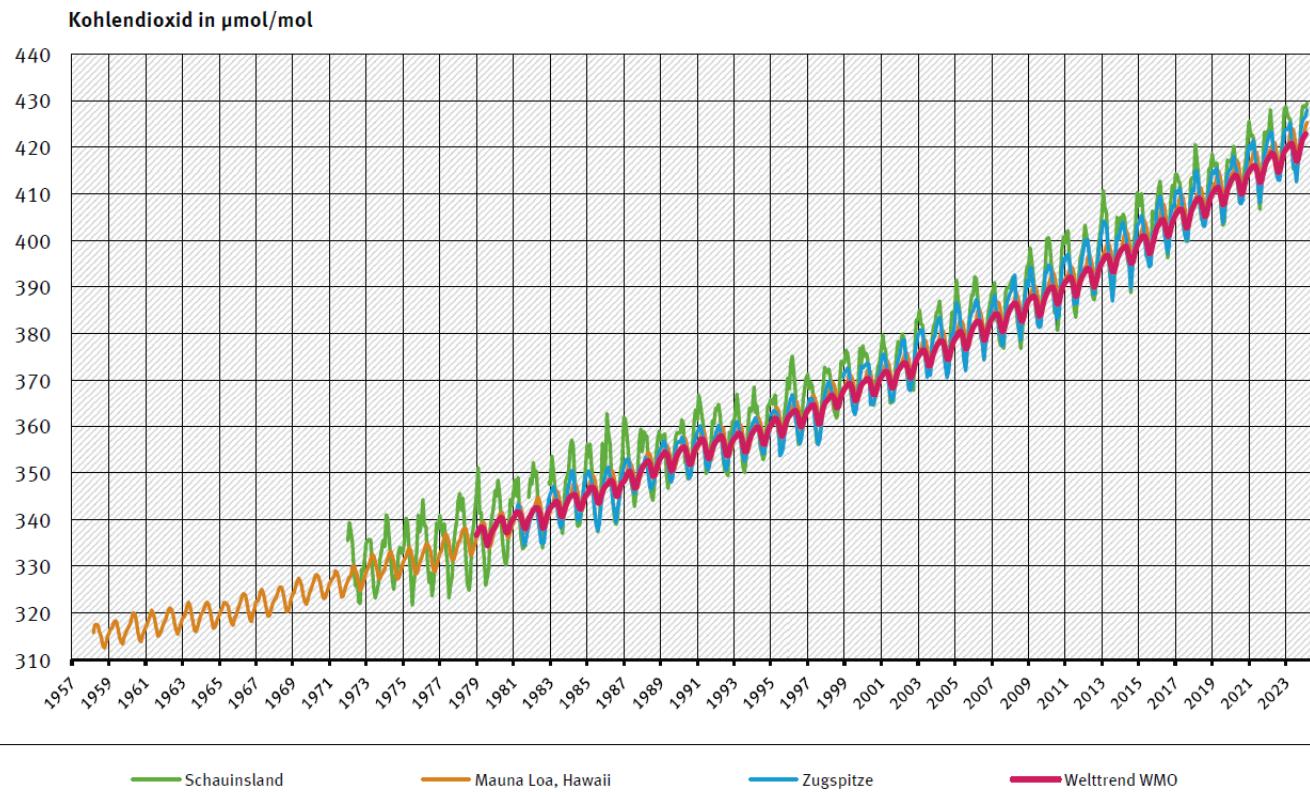


Auswirkungen des Bundes- Klimaschutzgesetzes auf Baumaßnahmen bei Deponien

Dipl.-Ing. Gerd Burkhardt,
Dr. Matthias Kühle-Weidemeier
MSc. Larissa Bessa

Der Klimawandel

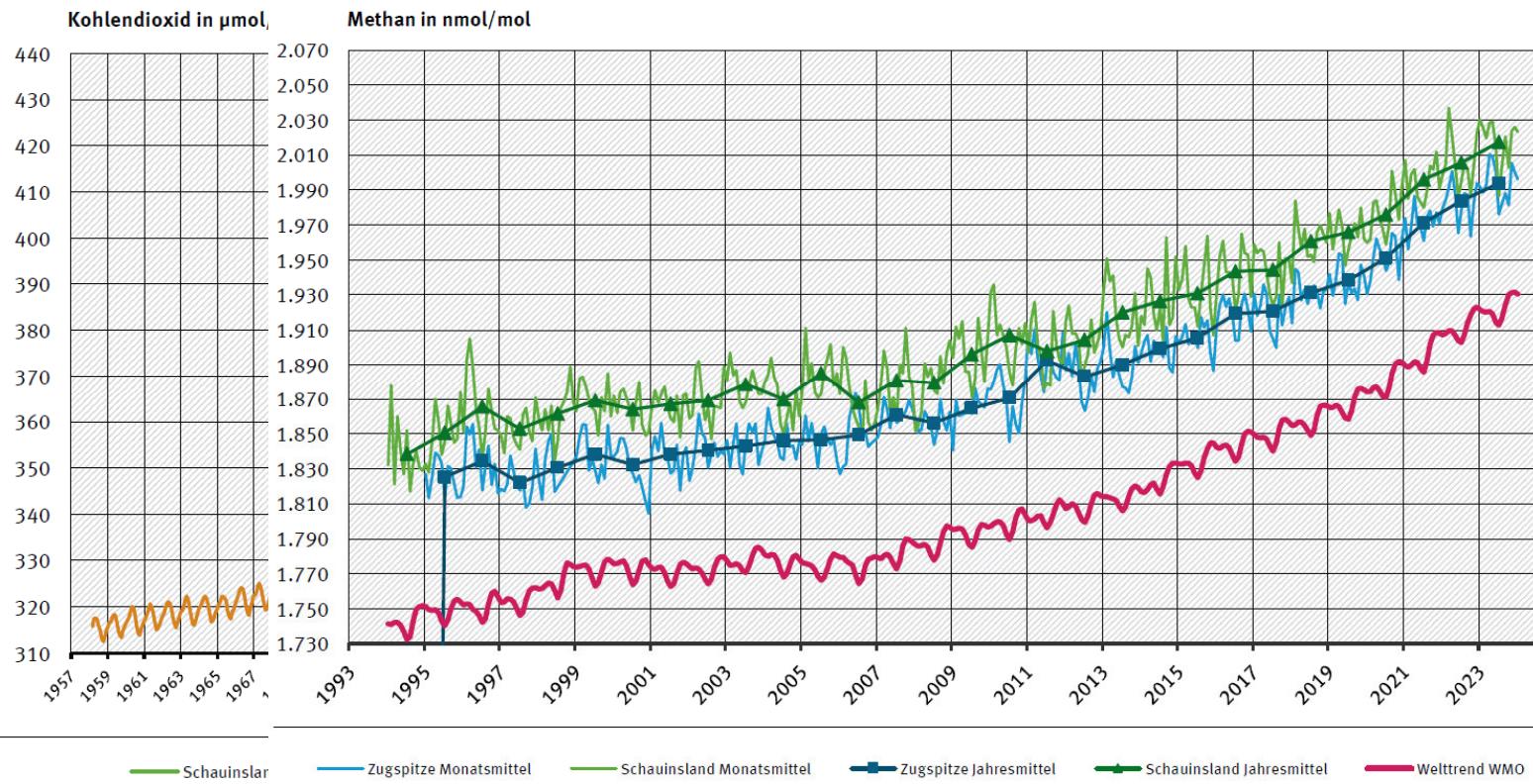
Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittelwerte)



Quelle: Umweltbundesamt (Schauinsland, Zugspitze), NOAA Global Monitoring Division and Scripps Institution of Oceanography (Mauna Loa, Hawaii, Welttrend)

Der Klimawandel

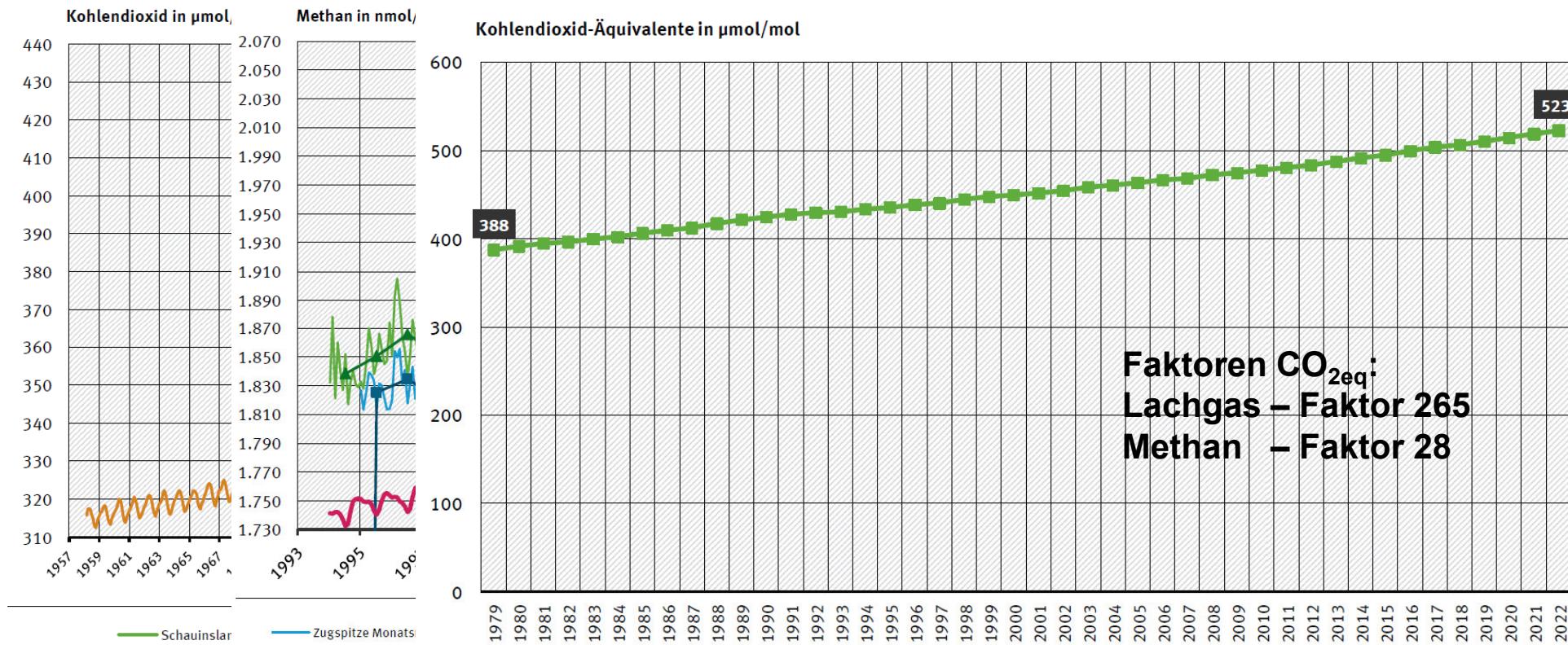
Kohlendioxid-Konzentration und Methan-Konzentration in der Atmosphäre (Monats- und Jahresmittelwerte)



Quelle: Umweltbundesamt (Schauinsland, Zugspitze), NOAA Global Monitoring Division (Welttrend)
Oceanography (Mauna Loa, Hawaii, Welttrend)

Der Klimawandel

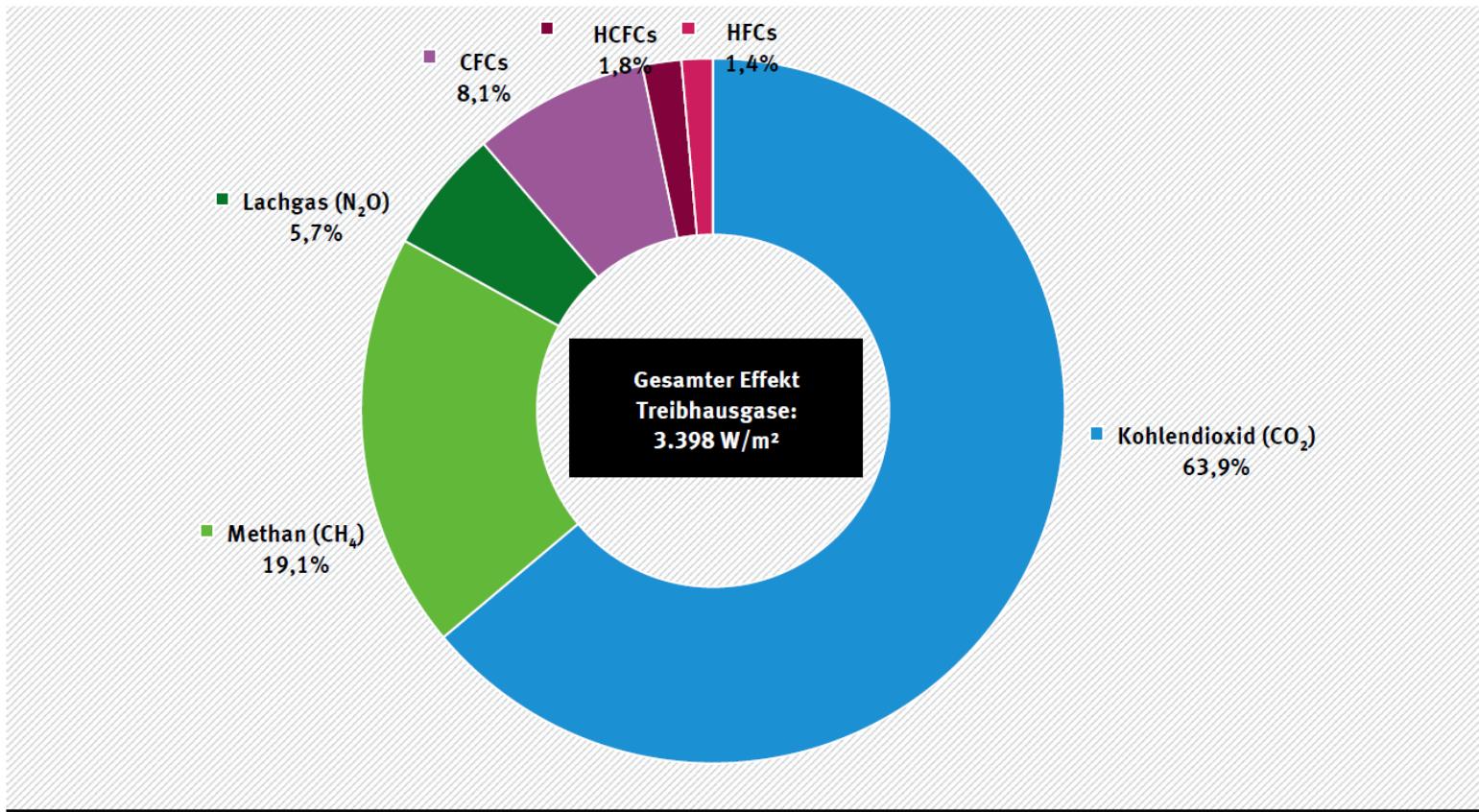
Kohlendioxid-Konzentrationen und Methan-Konzentration in der Atmosphäre (Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre (Kohlendioxid, Methan, Lachgas und F-Gase))



Quelle: NOAA Earth System Research Laboratory, The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI), 2023;
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>

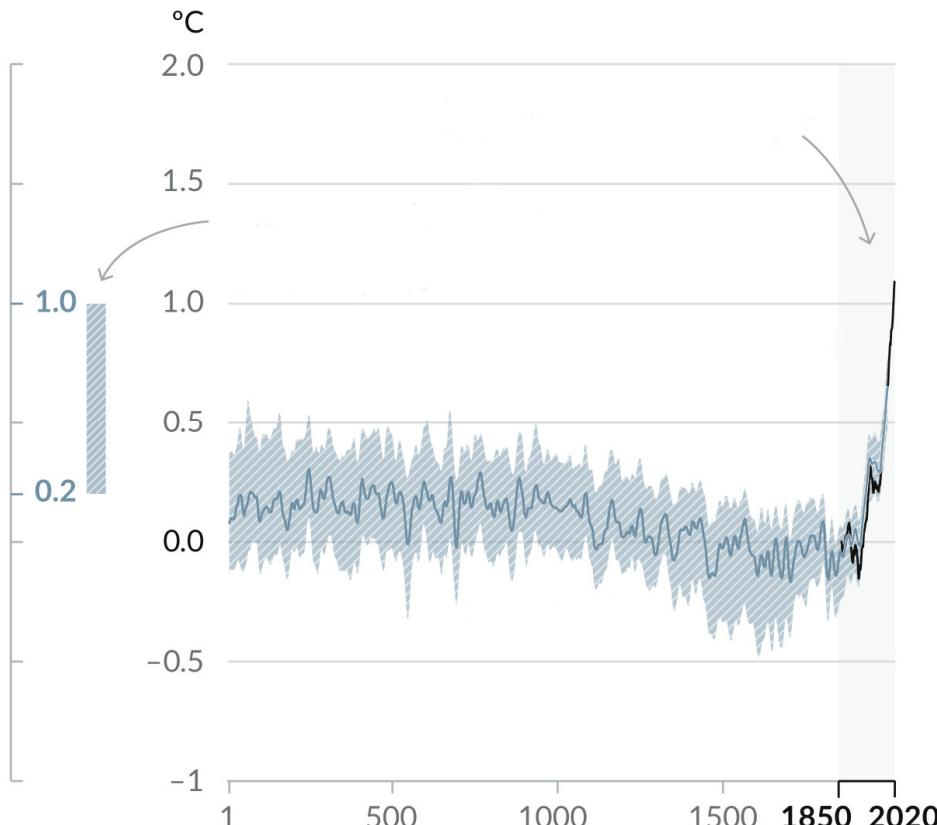
Der Klimawandel

Beitrag zum Treibhauseffekt durch Kohlendioxid und langlebige Treibhausgase 2022



Quelle: NOAA Earth System Research Laboratory, The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI),
<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>

Der Klimawandel



Quelle: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/bilder/IPC_Sachstandsbericht_20220118.jpg;jsessionid=29A66583C54FB2885F06694C75DE2717.live21072?__blob=normal&v=8

Der Einfluss des Menschen hat das Klima in einem Maße erwärmt, wie es seit mindestens 2000 Jahren nicht mehr der Fall war. Die Abbildung zeigt die Änderungen der globalen Oberflächentemperatur gegenüber 1850–1900.

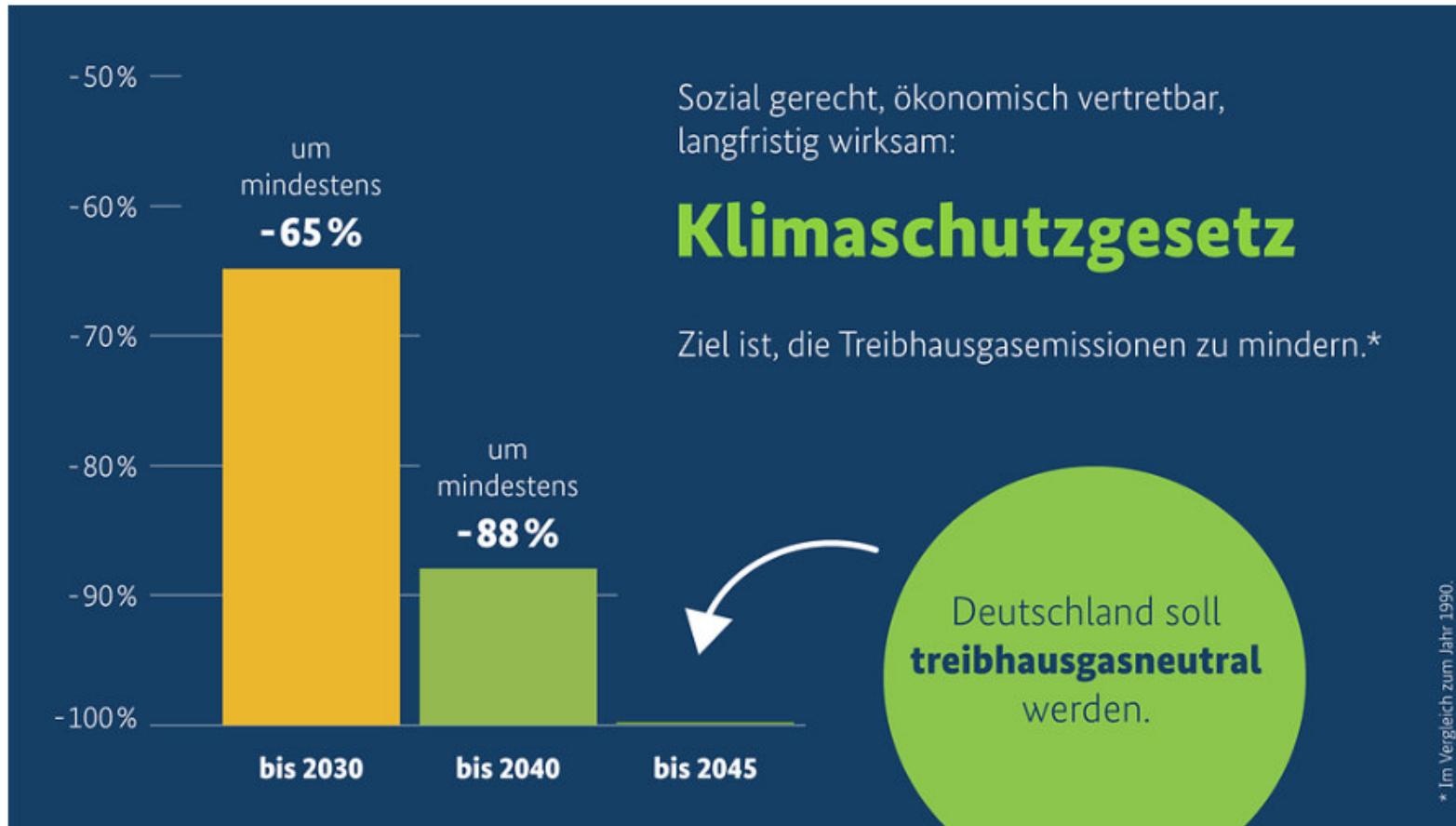
Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)

Generelles Ziel

Das Bundes-Klimaschutzgesetz ist ein gesetzlicher Rahmen, der Deutschland auf dem Weg zur Erreichung seiner Klimaziele voranbringen soll. Das Gesetz wurde 2019 verabschiedet, um den dringenden Herausforderungen der globalen Erwärmung zu begegnen, und legt verbindliche Emissionsreduktionsziele für Schlüsselsektoren, einschließlich des Abfallsektors, fest.

Der Zweck Bundes-Klimaschutzgesetzes Gesetzes ist es, zum Schutz vor den Auswirkungen des weltweiten Klimawandels die Erfüllung der nationalen Klimaschutzziele sowie die Einhaltung der europäischen Zielvorgaben zu gewährleisten. Dabei sollen die ökologischen, sozialen und ökonomischen Folgen berücksichtigt werden.

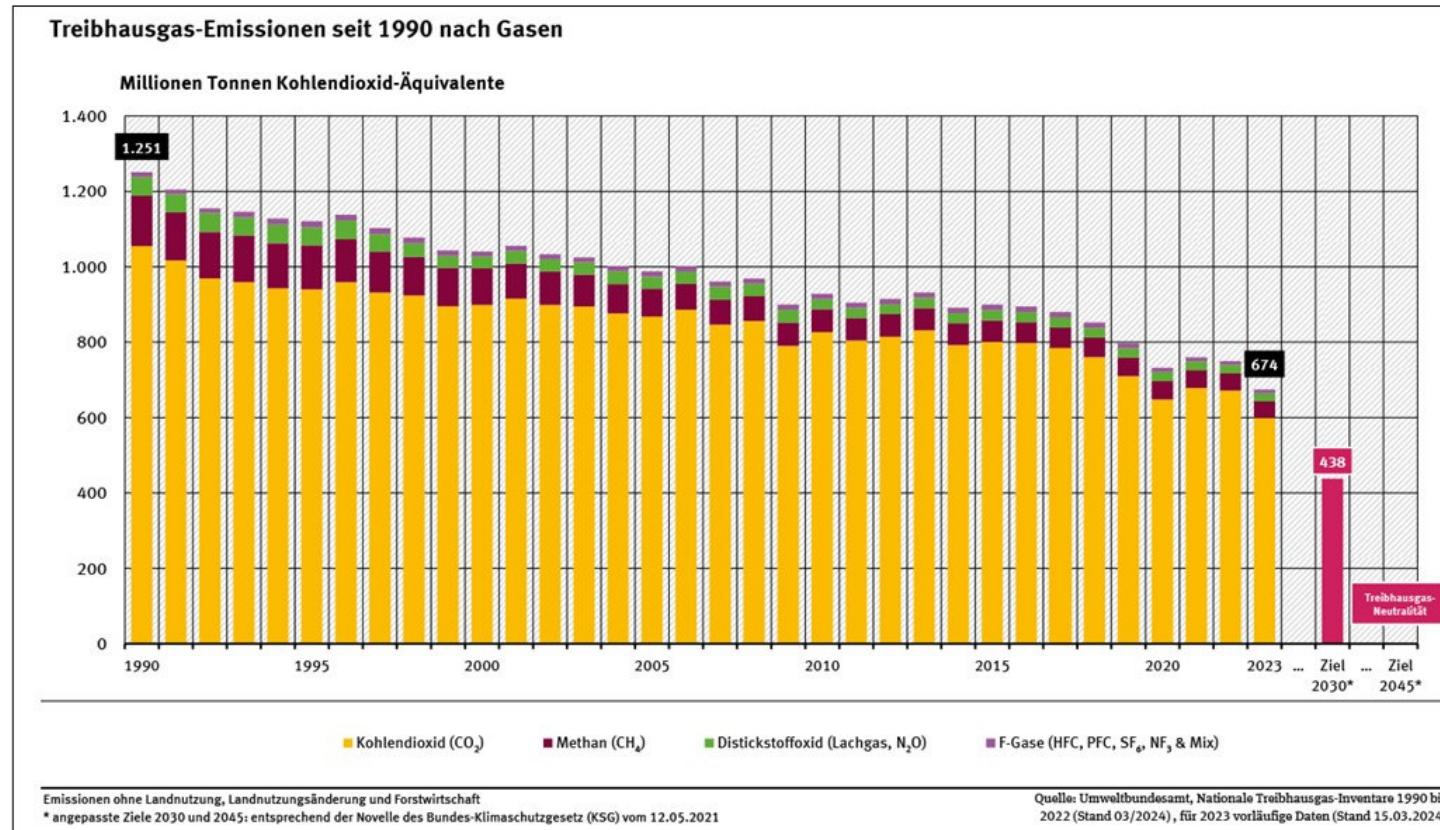
Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)



Quelle: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/tipps-fuer-verbraucher/klimaschutzgesetz-2197410>

Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)

Wo stehen wir derzeit



Abfallwirtschaft und Klimawandel



Was haben die Abfallwirtschaft allgemein und die Deponietechnik im Besonderen mit dem Klimaschutz zu tun?

Zu Beginn meiner Karriere lag der Schwerpunkt im Bereich der Deponietechnik eindeutig auf Schutz des Bodens und des Grundwassers vor Verunreinigungen durch Deponien. Aufgrund der vielen Lektionen, die wir Deponiefachleute gelernt haben, die letztlich auch in gesetzliche Vorgaben gegossen wurden, ist der Grundwasserschutz bei neueren Deponien zwar immer noch ein wichtiges Thema, aber weitestgehend geregelt und durch eine intensive Qualitätssicherung auch sichergestellt.

In den letzten Jahren rückt der Schutz der Atmosphäre vor Treibhausgasen immer mehr in den Vordergrund.

Abfallwirtschaft und Klimawandel

Selbst im Bereich der internationalen Zusammenarbeit laufen manche Abfallprojekte oft nicht mehr unter dem Titel der Abfallwirtschaft, sondern unter dem großen Themenbereich Klimaschutz.

Links ein Ausschnitt des Titelblatts eines Berichts zur Planung von Abfallbehandlungszentren mit Deponie und Abfallbehandlungsanlagen für die Bezirke Malang, Jombang, Sidoarjo und Jambi in Indonesien (Beispiel: Jombang)

 **ICP**
Geologen und Ingenieure
für Wasser und Boden

 **M&P**
GROUP

MINISTRY·OF·PUBLIC·WORKS·AND·HOUSING·
(MoPWH)¶
and¶
KfW—German·Development·Bank↔
¶
German·Financial·Cooperation·with·the·Republic·of·Indonesia¶
¶
 **DU** kerja sama jerman DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT
 **KfW**
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation

Emission·Reduction·in·Cities···¶
Solid·Waste·Management¶
¶
¶
Draft·Report¶
¶
Detailed·Engineering·Design·for¶
¶
Jombang·Regency¶

Die Sektoren gemäß KSG

Sektoren	Beschreibung der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformats (Common Reporting Formats – CRF)	Quellkategorie CRF
1. Energiewirtschaft	Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft; Pipelinetransport (übriger Transport); Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen	1.A.1 1.A.3.e 1.B
2. Industrie	Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft; Industrieprozesse und Produktverwendung; CO ₂ -Transport und -Lagerung	1.A.2 2 1.C
3. Gebäude	Verbrennung von Brennstoffen in: Handel und Behörden; Haushalten. Sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen)	1.A.4.a 1.A.4.b 1.A.5
4. Verkehr	Transport (ziviler inländischer Straßenverkehr; Schienenverkehr, inländischer Schiffsverkehr) ohne Pipelinetransport	1.A.3.a; 1.A.3.b; 1.A.3.c; 1.A.3.d
5. Landwirtschaft	Landwirtschaft; Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei	3 1.A.4.c
6. Abfallwirtschaft und Sonstiges	Abfall und Abwasser; Sonstige	5 6
7. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen; Holzprodukte; Änderungen zwischen Landnutzungskategorien	4

Die Abfallwirtschaft ist gemeinsam mit dem Bereich Abwasser und Sonstigem als Sektor Nr. 6 aufgeführt

Die Sektoren gemäß KSG – bisher Erreichtes

Anteil der Emissionen	Stoff	Jahr 1990	Jahr 2023	Differenz	Reduktion
Energieerzeugung	CO ₂	991.963	558.848	433.115	-43,7%
	CH ₄	46.188	6.480	39.708	-86,0%
	N ₂ O	6.128	3.881	2.247	-36,7%
Summe		1.044.279	569.208	475.071	-45,5%
Anteil an Gesamtemissionen		83,5%	84,5%		
Industrieprozesse	CO ₂	59.642	36.815	22.827	-38%
	CH ₄	460	494	-34	7%
	N ₂ O	20.851	319	20.532	-98%
	F-Gase	12.324	9.427	2.897	-24%
Summe		93.278	47.056		
Anteil an Gesamtemissionen		7,5%	7,0%		
Landwirtschaft	CO ₂	3.190	2.309	881	-28%
	CH ₄	46.005	33.752	12.253	-27%
	N ₂ O	22.396	16.112	6.284	-28%
Summe		71.591	52.172	19.419	-27%
Anteil an Gesamtemissionen		5,7%	7,7%		
Abfallwirtschaft	CO ₂	-	-	-	-
	CH ₄	40.956	4.102	36.854	-90%
	N ₂ O	526	1.415	-889	169%
Summe		41.520	5.660	35.860	-86%
Anteil an Gesamtemissionen		3,3%	0,8%	0	-76%
Gesamtemissionen		1.250.658	673.953	576.705	-46%
	CO ₂	84,34%	88,73%		
	CH ₄	10,68%	6,65%		
	N ₂ O	3,99%	3,22%		
	F-Gase	0,99%	1,40%		

Quelle: Treibhausgas-Emissionen in Deutschland | Umweltbundesamt

Die Zahlen belegen, dass die abfallrechtlichen Maßnahmen (Verbot der Ablagerung organischer Stoffe) und die Bemühungen die Deponiegassfassung und –behandlung zu intensivieren, gegriffen haben.

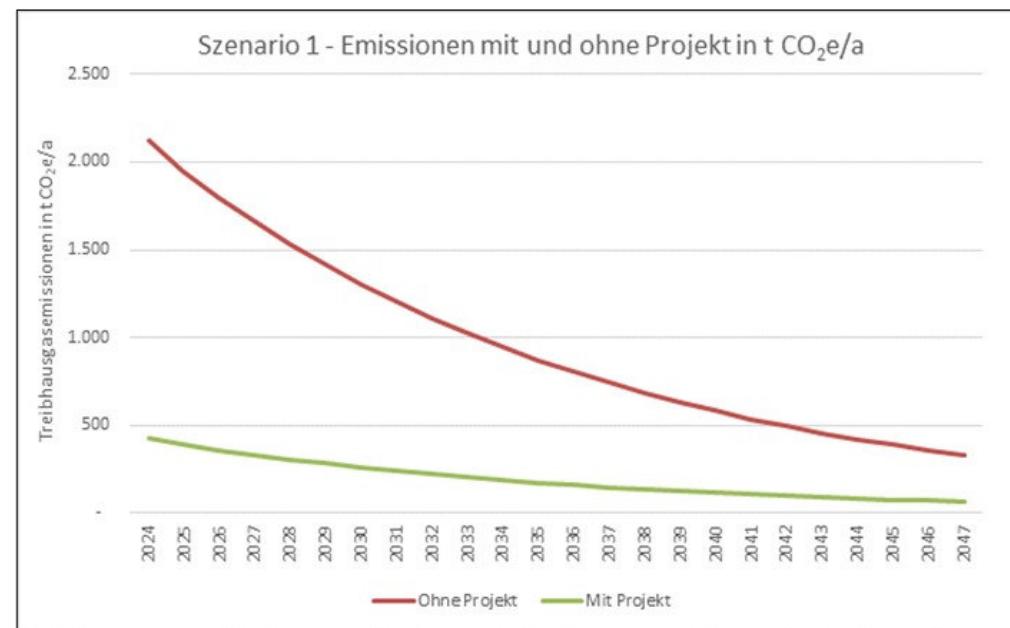
Der Abfallsektor ist der erfolgreichste Sektor hinsichtlich der Reduzierung der Treibhausgase!

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Berechnung der Treibhausgasemissionen anhand eines Beispiels

Oberflächenabdichtung und Gasfassung / -behandlung einer älteren Deponie

Durch die Fassung und Behandlung der entstehenden Deponiegase werden die Treibhausgasemissionen entsprechend reduziert.



Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Anzahl der Anlieferungen bzw. An- und Abfahrten zur Baustelle

Die Schwierigkeit liegt darin die Anzahl der Anlieferungen sowie die jeweilige mittlere Transportentfernung abzuschätzen. Aus diesen Zahlen ergeben sich die gesamt erforderlichen Transport-Kilometer.

Maximale Fahrzeugbewegungen zur und von der Baustelle	Fahrzeuge pro Bauabschnitt			
	1	2	3	4
Anlieferung Profilierungsmaterial, Lkw	3.110	3.889	3.889	3.889
Anlieferung Material Gasdränschicht, Lkw	249	249	249	249
Anlieferung Kunststoffdichtungsbahn, Lkw	80	80	80	80
Anlieferung Geosynthetische Dränschicht, Lkw	88	80	80	80
Anlieferung Rekultivierungsboden, Lkw	1.515	4.546	4.546	4.167
Rodungsarbeiten, Sonstiges, Lkw	120	120	120	120
Baustelleneinrichtung / -räumung, Lkw	100	-	-	100
Total	5.262	8.964	8.964	8.685

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Baufahrzeuge und -maschinen auf der Baustelle

Die Berechnung der durch den Betrieb von Maschinen verursachten Emissionen kann gemäß dem Leitfaden der Europäischen Umweltagentur für das Verzeichnis der Luftschadstoffemissionen (EMEP/EEA, 2023) erfolgen. Bei dieser Methode werden die Maschinen lediglich in zwei Gruppen eingeteilt:

- Straßenmaschinen (wie Lastwagen und Busse) und
- Nicht-Straßenmaschinen (einschließlich Bulldozer und Bagger).

Maximale Fahrzeugbewegungen auf der Baustelle	Fahrzeuge pro Bauabschnitt			
	1	2	3	4
Baufahrzeuge generell (für die Baumaßnahme)	680	680	680	680
Gesamt	680	680	680	680

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Ansatz für Straßenfahrzeuge (Lkws)

$$E = n \times FC \times EF$$

Wobei:

E = Masse der Emissionen

n = Anzahl der Motoren (Einheiten)

FC = typischer Kraftstoffverbrauch (Diesel) pro km

EF = Emissionsfaktor für Diesel (g/kWh)

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Ansatz für Nicht-Straßenfahrzeuge (Lkws)

$$E = n \times HRS \times P \times EF$$

Wobei:

E = Masse der Emissionen

n = Anzahl der Motoren (Einheiten)

HRS = jährliche Betriebsstunden

P = Motorgröße (kW)

EF = Emissionsfaktor (g/kWh)

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Abgasgrenzwerte für LKW und Busse (Fahrzeuge ab 2.610 kg; Grenzwerte für die Typ- und Serienprüfungen)

	vor EURO I	EURO I	EURO I		EURO II	EURO III	EURO IV	EURO V	EEV	EURO VI	EURO III	EURO IV	EURO V	EEV	EURO VI	EURO VI	
Richtlinie/ Verord- nung	88/77 EWG	91/542/ EWG	91/542/ EWG		91/542/ EWG	99/96/EG Stufe A	99/96/EG Stufe B1	99/96/EG Stufe B2	99/96/EG Stufe C EEV	EG 582/2011, Anhang XV Diesel-Fzg.	99/96/EG Stufe A	99/96/EG Stufe B1	99/96/EG Stufe B2	99/96/EG Stufe C EEV	EG 582/2011, Anhang XV Diesel-Fzg.	EG 582/2011, Anhang XV Otto-Fzg.	
Typprüfung	–	ab 01.07.1992	–	neue Fzg.- Typen	ab 01.10.1995	ab 01.10.2000	ab 01.10.2005	ab 01.10.2008	–	ab 31.12.2012	ab 01.10.2000	ab 01.10.2005	ab 01.10.2008	–	ab 31.12.2012	ab 31.12.2012	
Serien- prüfung	ab 01.10.1990	–	ab 01.10.1993	alle Fzg.	ab 01.10.1996	ab 01.10.2001	ab 01.10.2006	ab 01.10.2009	ab 01.07.2000	ab 31.12.2013	ab 01.10.2001	ab 01.10.2006	ab 01.10.2009	ab 01.07.2000	ab 31.12.2013	ab 31.12.2013	
in g/kWh																	
Grenzwerte für den 13-Stufen-Test					Grenzwerte für die ESC- und die ELR-Prüfung					Grenzwerte für die ETC-Prüfung						WHTC	
CO	11,2	4,5	4,9		4	2,1	1,5	1,5	1,5	1,5	5,45	4	4	3	4	4	
HC	2,4	1,1	1,23		1,1	0,66	0,46	0,46	0,25	–	0,78	0,55	0,55	0,4	–	–	
THC	–	–	–		–	–	–	–	0,13	–	–	–	–	–	0,16	–	
NO _x	14,4	8	9		7	5	3,5	2	2	0,4 ^{a)}	5	3,5	2	2	0,46 ^{a)}	0,46 ^{a)}	
CH ₄	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,5	
NMHC	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,16	
NH ₃ (in ppm)	–	–	–		–	–	–	–	–	10	–	–	–	–	10	10	
Methan	–	–	–		–	–	–	–	–	–	1,6	1,1	1,1	0,65	–	–	
Partikel- masse ^{c)}	–	0,36*	0,4*		0,15	0,10; 0,13 ^{d)}	0,02	0,02	0,02	0,01	0,16; 0,21 ^{d)}	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	
Partikel- zahl ^{e)} (in Anzahl/ kWh)	–	–	–		–	–	–	–	8,0 x 10 ¹¹	–	–	–	–	6,0 x 10 ¹¹	f)		
Rauch- trübung	–	–	–		–	0,8	0,5	0,5	0,15	–	–	–	–	–	–		

Ab EURO II Grenzwert für alle Fzg. = Grenzwert für neue Fahrzeugtypen

Messungen für EURO I und II erfolgen im 13-Stufen-Test.

Messungen für EURO III bis VI erfolgen im ESC und ELR-Verfahren bzw. ETC-Test.

* Auf den Grenzwert für die Partikelemission wird bei Motoren mit einer Leistung von höchstens 85 kW ein Koeffizient von 1,7 angewandt.

a) Der Wert des zulässigen NO₂-Anteils am NO_x-Grenzwert kann zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt werden.

b) Gilt nur für Fahrzeuge mit Erdgasmotoren

c) Gilt bei der ETC-Prüfung nicht für mit Gas betriebene Motoren in den Stufen A, B1 und B2

d) Für Motoren mit einem Hubraum von unter 0,75 dm³ je Zylinder und einer Nennleistungsdrehzahl von über 3000 U/min

e) Bis zum 31.12.2012 wird eine Messprozedur für die Partikelzählungsmessung für Otto- und Diesel-Lkw (Euro VI, WHSC- und WHTC-Zyklen) festgelegt.

f) Vor dem 31. Dezember 2012 wird ein Grenzwert für die Partikelzahl eingeführt.

EEV: Enhanced Environmentally Friendly Vehicle

ESC: European Stationary Cycle

ELR: European Load Response Test

ETC: European Transient Cycle

WHSC: World Harmonized Stationary Cycle

WHTC: World Harmonized Transient Cycle

Quelle: Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de/verkehr/index.htm

Quelle: [5_tab_grenzwerte-lkw.pdf \(umweltbundesamt.de\)](http://5_tab_grenzwerte-lkw.pdf (umweltbundesamt.de))

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Beispielhafte Ansätze

Arbeiten	Art	Betriebs-zeit (h/d)	Strecke (km/d)	Leistung (kW)	Emission Kategorie	Maschinen-größe
Rodungsarbeiten, Lkw	Straßen-maschinen	8	25	n.a	Euro VI	(16 -32 t)
Baustelleneinrichtung / -räumung, Lkw	Straßen-maschinen	8	25	n.a	Euro VI	(16 -32 t)
Baufahrzeuge generell (für die Baumaßnahme), Lkw²	Nicht-Straßen-maschinen	8	n.a	90/120	Stage V	n.a
Anlieferung Profilierungsmaterial, Lkw	Straßen-maschinen	8	25	n.a	Euro VI	(16 -32 t)
Anlieferung Material Gasdränenschicht, Lkw	Straßen-maschinen	8	25	n.a	Euro VI	(16 -32 t)
Anlieferung Kunststoffdichtungsbahn, Lkw	Straßen-maschinen	8	25	n.a	Euro VI	(16 -32 t)
Anlieferung Dränmatte, Lkw	Straßen-maschinen	8	25	n.a	Euro VI	(16 -32 t)
Anlieferung Rekultivierungsboden, Lkw	Straßen-maschinen	8	25	n.a	Euro VI	(16 -32 t)

*n.a = wird nicht für die Berechnung benötigt

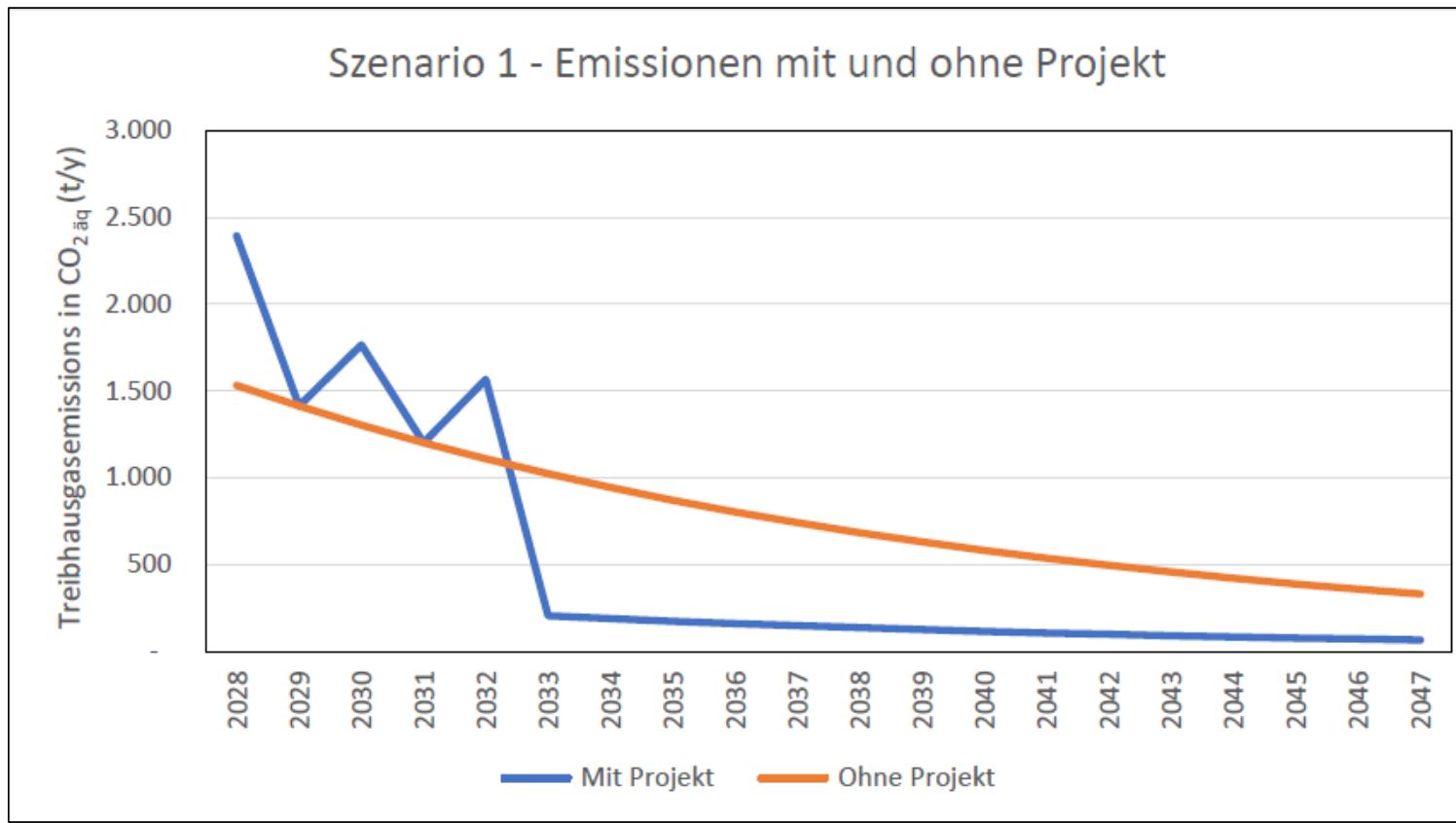
Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Beispielhafte Ansätze

	FC [g/kWh]	EF CO ₂ [kg/kg Brennstoff]	EF CH ₄ [g/kWh]	EF N ₂ O [g/kWh]
Baufahrzeuge generell (für die Baumaßnahme), Lkw	255	3,16	0,003	0,035
Straßenfahrzeuge	FC [g/km]	EF CO ₂ [kg/kg Brennstoff]	EF N ₂ O [g/km]	
Baustelleneinrichtung / -räumung, Lkw	210	3,169	0,032	
Anlieferung Profilierungsmaterial, Lkw	210	3,169	0,032	
Anlieferung Material Gasdränschicht, Lkw	210	3,169	0,032	
Anlieferung Kunststoffdichtungsbahn, Lkw	210	3,169	0,032	
Anlieferung Dränmatte, Lkw	210	3,169	0,032	
Anlieferung Rekultivierungsboden, Lkw	210	3,169	0,032	
Rodungsarbeiten, Lkw	210	3,169	0,032	

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Ergebnis der Berechnungen



Für Szenario 1 ergab sich eine Reduktion der gesamten Emissionen in einem Zeitraum von 20 Jahren um **5.641 Mg CO₂eq**

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Anmerkungen zum gewählten Beispiel

Bei dem gewählten Beispiel handelt es sich um eine Maßnahme zur Oberflächenabdichtung einer Deponie gemäß Deponierecht. Die Deponie muss somit an der Oberfläche abgedichtet werden. Bei der Betrachtung der Emissionen besteht somit nur die Wahl unterschiedlicher Baumaterialien oder Anforderungen an die Abgasgrenzwerte der zur Verwendung gelangenden Baumaschinen.

Dies führt, wenn man die CO₂-Bilanzierung vertieft betrachten möchte, rasch zu sogenannten Ökobilanzen, bei denen verschiedene Materialien hinsichtlich des Einsatzes verglichen werden, z. B. mineralische Dichtung und Geokunststoff-Tondichtung (GTD, Bentonitmatte). In diesem Falle sind jedoch die erzeugten Emissionen bei der Gewinnung bzw. Herstellung der Materialien mit zu betrachten.

Beispiel anhand einer Deponiebaumaßnahme

Fazit

Die Emissionsbetrachtung wird in der Regel in Genehmigungs- bzw. Planfeststellungsverfahren gefordert. Zu diesem Zeitpunkt beruht die zu genehmigende Planung auf der Entwurfsplanung, was bedeutet, dass die wesentlichen Bauteile dimensioniert wurden und die Planung weitgehend steht. Allerdings lässt sich noch nicht sagen, welche Lkws oder Baumaschinen zum Einsatz kommen bzw., wo welche Baustoffe bezogen werden. Auf der Grundlage der Entwurfsplanung kann eine Emissionsbetrachtung grob durchgeführt werden. Insbesondere können Szenarien verglichen werden, sofern die gleichen Grundlagen angesetzt werden. Eine exakte Berechnung der Emissionen ist zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht möglich.

Trotzdem halten wir dieses Mittel für sinnvoll.

Andere Anwendungsbeispiele

Andere Anwendungsbeispiele im Bereich der Abfallwirtschaft sind:

- **Vergleich verschiedener Abfallbehandlungsverfahren hinsichtlich der erzeugten Emissionen**
- **Minimierung der Emissionen bei der Abfallsammlung (Routenoptimierung / Einsatz abgasarmer Fahrzeuge)**
- **Optimierung der Standortfindung von Abfallanlagen / Abfall-Umladestationen**

Andere Anwendungsbeispiele

Die Emissionsbetrachtung lässt sich auch für die meisten anderen Baumaßnahmen übertragen

- Emissionen durch die Baumaßnahme selbst
- Emissionen durch die Herstellung der eingesetzten Baumaterialien
- Emissionen durch den Rückbau bestehender oder von geplanten Bauwerken
- Vergleich zwischen Rückbau (mit Neubau) oder Sanierung bestehender Gebäude