

TEXTE

119/2025

Aktualisierung der VOC-Emissionen für die Bereitstellung von Mineralölprodukten

Aktualisierung 2025

von:

Christian Böttcher

Umweltbundesamt, Fachgebiet Emissionssituation (V 1.6)

Herausgeber:

Umweltbundesamt

Aktualisierung der VOC-Emissionen für die Bereitstellung von Mineralölprodukten

Aktualisierung 2025

von

Christian Böttcher

Umweltbundesamt, Fachgebiet Emissionssituation (V 1.6)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Abschlussdatum:

März 2025

Redaktion:

Christian Böttcher Fachgebiet V 1.6
Emissionssituation

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8092>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen*Autoren.

Kurzbeschreibung: Aktualisierung der VOC-Emissionen für die Bereitstellung von Mineralölprodukten

Dieser Bericht versteht sich als Begleitbericht zum jährlichen Nationalen Inventar Dokument (NID) und bildet eine Synopse von Gutachten und Forschungsberichten der letzten zwanzig Jahre ab. Er soll vordergründig zur Erläuterung von Ansätzen für Inventarüberprüfungen dienen.

Bei den Analysen konnte festgestellt werden, dass einige Prozesse bisher unterschätzt wurden. Das zeigt sich bei den Reinigungsvorgängen an Straßentankwagen besonders. Außerdem musste der Ansatz zur Aufteilung der Emissionen in die Berichtskategorien Energie (CRT/NRF 1.B) und Industrie (CRT/NRF 2.B) in einigen Unterkategorien überarbeitet werden.

Abstract: Update of VOC emissions for the supply of mineral oil products

This report is considered as a companion to the annual National Inventory Document (NID) and presents a synopsis of reports from the past twenty years. Its primary purpose is to explain approaches to inventory reviewers. The analyses revealed that some processes have been underestimated to date as shown particularly in cleaning processes on road tankers. Furthermore, the approach for allocating emissions into the reporting categories Energy (CRT/NRF 1.B) and Industry (CRT/NRF 2.B) had to be revised in some subcategories.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung.....	11
Summary	12
1 Einleitung.....	13
2 Verarbeitung.....	14
2.1 Abgrenzung diffuser Emissionen.....	14
2.2 Ableitung diffuser Emissionen	14
2.3 Auswirkungen	16
3 Transport und Reinigung.....	19
3.1 Transport.....	19
3.2 Reinigung.....	19
3.2.1 Tanklager.....	19
3.2.2 Binnentankschiffe	21
3.2.3 Pipelines.....	22
3.2.4 Eisenbahnkesselwagen	22
3.2.5 Straßentankwagen.....	23
3.3 Auswirkungen	24
4 Lagerung.....	27
4.1 Lagerung von Mineralölprodukten	27
4.2 Auswirkungen	30
5 Verteilung	32
5.1 Verteilung mittels Binnentankschiffen	32
5.2 Direktemissionen bei der Betankung von Fahrzeugen und der Verteilung von Heizöl	32
5.2.1 Ottokraftstoff.....	32
5.2.2 Dieselkraftstoff	33
5.2.3 Heizöl	33
5.2.4 Flugturbinenkraftstoff.....	33
5.3 Tropfverluste bei der Betankung	33
5.4 Tankschlauchemissionen	34
5.5 Betankung von Freizeitbooten mittels Kanister	35
5.6 Auswirkungen	36

6	Danksagung	37
7	Quellenverzeichnis	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	VOC-Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iv "Verarbeitung von Öl"	17
Abbildung 2:	VOC-Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iv "Verarbeitung von Öl"	18
Abbildung 3:	Gegenüberstellung Submission 2025 mit Submission 2026 für das Berichtsjahr 2023	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Aktivitäten unter „Verarbeitung von Öl“	14
Tabelle 2:	CH ₄ -Emissionsfaktoren in Erdölraffinerien bezogen auf Rohöleinsatz	14
Tabelle 3:	NMVOC-Emissionsfaktoren in Erdölraffinerien bezogen auf Rohöleinsatz	15
Tabelle 4:	diffuse NMVOC-Emissionsfaktoren in Erdölraffinerien bezogen auf Rohöleinsatz	16
Tabelle 5:	Aktivitäten unter „Transport von Mineralölprodukten und Reinigung von Transportmedien“	19
Tabelle 6:	Abschätzung von Emissionsfaktoren aus Daten der Emissionserklärungen	20
Tabelle 7:	Aufteilung der Emissionen	21
Tabelle 8:	Aufteilung der VOC-Emissionen nach Gütergruppen und Berichtskategorien	22
Tabelle 9:	VOC-Emissionen pro gereinigtem Kesselwagen	23
Tabelle 10:	Aufteilung der Emissionen aus der Reinigung von Kesselwagen auf die Berichtskategorien	23
Tabelle 11:	VOC-Emissionen pro gereinigtem Tankwagen	24
Tabelle 12:	Aufteilung der Emissionen aus der Reinigung von Tankwagen auf die Berichtskategorien	24
Tabelle 13:	Emissionsfaktoren aus der Reinigung von Mineralölproduktentanks und -transportmittel ab der Berichterstattung 2026	24
Tabelle 14:	NMVOC-Emissionen aus der Reinigung von Mineralölproduktentanks und -transportmittel für das Jahr 2021 in der Berichterstattung 2025 und 2026	25
Tabelle 15:	Aktivitäten unter „Lagerung von Mineralölprodukten“	27
Tabelle 16:	Abschätzung von Emissionsfaktoren aus Daten der Emissionserklärungen 2004 und 2008 nach 11. BImSchV	27
Tabelle 17:	Emissionsfaktoren für den Bereich „Lagerung in Raffinerien“ auf Basis der ausgewerteten Emissionserklärungen 2004 - 2016	28

Tabelle 18:	bisherige Methode (Submission 2025) am Beispiel des Jahres 2021.....	29
Tabelle 19:	Anteil der Emissionen aus der Lagerung von Mineralölprodukten ab der Berichterstattung 2026.....	30
Tabelle 20:	Ableitung der Emissionsfaktoren für 1990 bis 2016	30
Tabelle 21:	neue Methode (Submission 2026) am Beispiel des Jahres 2021	31
Tabelle 22:	Aktivitäten unter „Verteilung von Mineralölprodukten“.....	32
Tabelle 23:	Anwendungs- und Wirkungsgrad der 20. und 21. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) an Tankstellen im Jahr 2021	33
Tabelle 24:	Tropfverluste bei Betankungsvorgängen	34
Tabelle 25:	konservative Abschätzung der VOC-Emissionen bei der Betankung von Freizeitmotorbooten mittels Kanister am Beispiel 2021	35
Tabelle 26:	Emissionen aus der Verteilung von Mineralölprodukten exemplarisch für das Jahr 2021	36

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BlmSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
Destatis	Statistisches Bundesamt
DGMK	Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für nachhaltige Energieträger, Mobilität und Kohlenstoffkreisläufe
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMYV	Deutscher Motoryachtverband
EEA	European Environment Agency - Europäische Umweltagentur
EF	Emissionsfaktor
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme - Europäisches Monitoring- und Evaluierungsprogramm
IIR	Informativer Inventarreport
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change - Zwischenstaatlicher Ausschuss zu Klimaänderungen
NFR	Nomenclature for Reporting – Inventartabellen unter der Luftreinhaltekonvention
NID	Nationales Inventardokument
NMVOC	Non-methane volatile organic compounds - Flüchtige organische Verbindungen, die kein Methan sind,
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VdTÜV	Interessenvertretung der Technischen Überwachungs-Vereine
VOC	Volatile organic compounds - Flüchtige organische Verbindungen
ZSE	Zentrales System Emissionen

Zusammenfassung

Deutschland ist aufgrund verschiedener internationaler Regelungen verpflichtet, jährlich die nationalen Emissionen zu berichten. Dieser Bericht betrachtet die Emissionen flüchtiger organischer Verbindung aus der Mineralölkette gemäß der IPCC und NFR Kategorie 1.B.2.a.

In den letzten zwei Dekaden haben Forschungsvorhaben und Gutachten Emissionserklärungen ausgewertet, Betreiber befragt und Messungen vorgenommen, um die Qualität des deutschen Inventars zu verbessern. Als eine Handreiche für Reviewer soll dieser Bericht die wesentlichen Erkenntnisse der Untersuchungen aufzeigen und die Abbildung im Inventar kenntlich machen.

Es hat sich gezeigt, dass einige Bereiche bisher unzureichend betrachtet wurden. So konnte aufgezeigt werden, dass die Emissionen bei der Reinigung von Straßentankwagen erheblich unterschätzt, die aus der Lagerung und Reinigung der Tanks jedoch erheblich überschätzt wurden. Auch musste die bisherige Aufteilung emissionsverursachender Prozesse zwischen den IPCC Kategorien Energie und Industrie überarbeitet werden.

Exemplarisch für das Jahr 2021 werden die VOC-Emissionen von derzeit 34 Kilotonnen auf 22 Kilotonnen rekalkuliert. Die Ergebnisse fließen in die Submission 2026 ein.

Summary

Due to various international regulations, Germany is obliged to report its national emissions annually. This report analyzes the emissions of volatile organic compounds from the mineral oil chain in accordance with IPCC and NFR category 1.B.2.a.

Over the last two decades, research projects and expert reports have evaluated emission declarations, interviewed operators and carried out measurements in order to improve the quality of the German inventory. As a guide for reviewers, this report is intended to highlight the key findings of the investigations and identify the mapping in the inventory.

It has been shown that some areas have been insufficiently considered to date. For example, it was shown that the emissions from the cleaning of road tankers were considerably underestimated, while those from the storage and cleaning of tanks were considerably overestimated. The previous allocation of emission-causing processes between the IPCC categories of energy and industry also had to be revised.

As an example, for 2021 VOC emissions were recalculated from the current 34 kilotons to 22 kilotons. The results will be included in the 2026 submission.

1 Einleitung

Deutschland ist aufgrund verschiedener internationaler Regelungen verpflichtet, jährlich Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen zu berichten. Dieser Bericht betrachtet die VOC-Emissionen (Flüchtige organische Verbindungen) aus der Bereitstellung von Mineralölprodukten gemäß der Kategorie 1.B.2.a. Die Abgrenzung fußt auf den Definitionen der IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006) (Band 2 Kapitel 4) und dem EMEP Guidebook 2023 (European Environment Agency, 2023) (Kapitel 1.B.2.a). Hierbei werden nur Brennstoffe und deren Ausgasung berücksichtigt. Emissionen, die bei dem Transport auftreten (zum Beispiel Antrieb eines Lastkraftwagens), aber auch die der vorgelagerten Kette, sprich der Förderung und Bereitstellung von Rohöl, sind nicht Gegenstand des Berichts. Die Ermittlung dieser Emissionen wird im Nationalen Inventar Dokument (NID) (Günther et al., 2023) Kapitel 3.3.2 und dem Informativen Inventarreport (IIR) (Kotzulla et al., 2023) Kapitel 1.B.2.a erläutert. Bei Überprüfungen kamen immer wieder Nachfragen zu den Aufteilungen der emissionsverursachenden Vorgänge auf 1.B.2.a (diffuse Emissionen von flüssigen Brennstoffen) und 2.B.10 (diffuse Emissionen von chemischen Produkten) auf. Daher wird darauf ebenfalls eingegangen.

Einführende Tabellen in den jeweiligen Kapiteln weisen auf eine interne Zuordnung im ZSE hin, die teilweise auch in den zitierten Forschungsberichten genannt werden. Das ZSE ist das Zentrale System der Emissionen, eine Datenbank, in der alle Emissionsberechnungen für die verschiedenen Berichtspflichten durchgeführt werden.

Dieser Bericht versteht sich als Begleitbericht zum jährlichen Nationalen Inventar Dokument (NID) und dem jährlichen Informativen Inventarreport (IIR). Er ist eine Synopse von Gutachten und Forschungsberichten der letzten zwanzig Jahre und dient vornehmlich Review-Experten/Expertinnen unter UNFCCC und UNECE, die Herleitung der Emissionsfaktoren nachzuvollziehen. Alle zitierten unveröffentlichten Berichte liegen dem Autor vor und können auf Nachfrage freigegeben werden.

2 Verarbeitung

Tabelle 1: Aktivitäten unter „Verarbeitung von Öl“

Kategorie nach IPCC	Aktivität nach ZSE
1.B.2.a.iv (Refining and Storage):	Diffuse Emissionen bei der Raffinierung Clausanlagen Lagerung von Erdöl Lagerung von Mineralöl

Aufteilung der Emissionen gemäß der ZSE-Struktur in der Submission 2025

2.1 Abgrenzung diffuser Emissionen

Die derzeit gültigen IPCC Guidelines von 2006 (IPCC, 2006) definieren Verarbeitungsemissionen unter 1.B.2.a.iv als „flüchtige Emissionen (ohne Entlüftung und Abfackeln) in Erdölraffinerien“. Dies lässt einen großen Teil prozessbedingter Emissionen außen vor. Im EMEP Guidebook (European Environment Agency, 2023) wird darauf hingewiesen, dass auch Emissionen einzelner Prozesse in 1.B.2.a.iv mitberücksichtigt werden sollen, die nicht vornehmlich zur Herstellung von Petrochemikalien angewendet werden. (von Müller & Bender, 2020) haben in einem Forschungsprojekt sämtliche Emissionserklärungen der Raffineriebetreiber ausgewertet und diese auch verschiedenen Prozessen zugeordnet. Beim Treffen im September 2017 haben sich mehrere Facheinheiten im UBA mit dem Auftragnehmer dahingehend ausgetauscht, welche Prozesse unter 1.A.1.b „Petroleum Refining“, 1.B.2.a.iv „fugitive emissions from refining and storage“, 1.B.2.c „Venting and Flaring“ sowie 2.B „chemical industry“ zuzuordnen sind. Neben allen diffusen Emissionen (z. B. Leckagen an Rohrleitungen; Emissionen bei der Lagerung) werden auch die Clausanlagen sowie die Kalzinierung unter 1.B.2.a.iv berichtet. Fackelemissionen sowie Ausblasvorgänge werden 1.B.2.c „Venting und Flaring“ zugewiesen. Prozesse zur Wärme- und Energieerzeugung sowie der Katalysatorabbrand werden 1.A.1.b zugeordnet. Einzelprozesse zur Gewinnung chemischer Grundstoffe, wie die Methanolproduktion, werden 2.B. zugewiesen. Dieses Vorgehen wurde auch dem IPCC vorgeschlagen und ist im IPCC 2019 Refinement Band 2, Kapitel 4 Unterkapitel 1.B.2.a.iv (IPCC, 2019) aufgenommen worden.

2.2 Ableitung diffuser Emissionen

Für die diffusen Methanemissionen haben (von Müller & Bender, 2020) im Kapitel 6.6.1 die Bezugsgröße Rohöleinsatz gewählt und wie folgt nach den einzelnen Prozessen aufgeführt.

Tabelle 2: CH₄-Emissionsfaktoren in Erdölraffinerien bezogen auf Rohöleinsatz

Angegeben pro Jahr in kg·pro kt(Rohöl)

Prozess	Jahr	Mittlerer Emissionsfaktor
Dichtungselemente & Förderung	2004	0,185
	2008	0,233
	2012	0,211
	2016	0,243
Lagerung	2004	0,021

Prozess	Jahr	Mittlerer Emissionsfaktor
Verladung	2008	0,226
	2016	0,270
	2004	0,009
	2012	0,020

Die Emissionen aus der Lagerung werden gesondert betrachtet (Kapitel 4), da eine Differenzierung nach Rohöl und Mineralölprodukten vorgenommen werden muss.

Verladung beinhaltet den Umschlag von Produkten in Tankfahrzeuge, Pipelines oder Tanks. Diese Emissionen werden mit denen aus Dichtungselementen & Förderung zusammengeführt. Da sich aus den Einzeljahren kein logischer Trend erkennen lässt, wurden alle Jahre aufsummiert und ein gemittelter Faktor von 0,225 kg (Methan) /kt (Rohöleinsatz) gebildet.

Für die diffusen NMVOC-Emissionen haben (von Müller & Bender, 2020) im Kapitel 6.10.1 ebenfalls die Bezugsgröße Rohöleinsatz gewählt und wie folgt nach den einzelnen Prozessen aufgeführt.

Tabelle 3: NMVOC-Emissionsfaktoren in Erdölraffinerien bezogen auf Rohöleinsatz

Angegeben pro Jahr in kg·pro kt(Rohöl)

Prozess	Jahr	Mittlerer Emissionsfaktor
Clausanlage	2008	0,022
	2012	0,019
	2016	0,032
Sonstige Prozessemisionen	2004	1,27
	2008	0,41
	2012	0,49
	2016	0,29
Dichtungselemente & Förderung	2004	15,2
	2008	10,7
	2012	7,3
	2016	6,2
Lagerung	2004	31,8
	2008	25,4
	2012	24,3
	2016	22,7
Verladung	2004	2,80
	2008	1,84
	2012	1,91

Prozess	Jahr	Mittlerer Emissionsfaktor
Reinigung	2016	0,75
	2004	0,40
	2008	0,25
	2012	0,06
	2016	Keine Daten

Wie auch bei den Methanemissionen werden die NMVOC-Emissionen aus der Lagerung gesondert betrachtet (Kapitel 4). Ebenfalls gesondert werden Reinigungsprozesse betrachtet (Kapitel 3.2.1). Für die Clausanlage ist kein logischer Trend ersichtlich und die Anzahl an Meldungen ist auch sehr klein (nur 3 pro Jahr). Daher wird ein gemittelter Faktor von 0,025 kg (NMVOC) /kt (Rohöl) verwendet.

Die Prozesse „Verladung“, „Dichtungselemente & Förderung“ sowie „sonstige Prozesse“ werden zusammengeführt. Da sich aus den Einzeljahren ein sinkender Trend erkennen lässt und es eine hinreichend große Anzahl an Meldungen gibt (10 bis 12 pro Jahr), wurde dieser auch so übernommen (Tabelle 4).

Tabelle 4: diffuse NMVOC-Emissionsfaktoren in Erdölraffinerien bezogen auf Rohölleinsatz

Angegeben pro Jahr in kg·pro kt(Rohöl)

	2008	2012	2016	2020
Mittlerer Emissionsfaktor	19,67	13,2	7,63	7,24

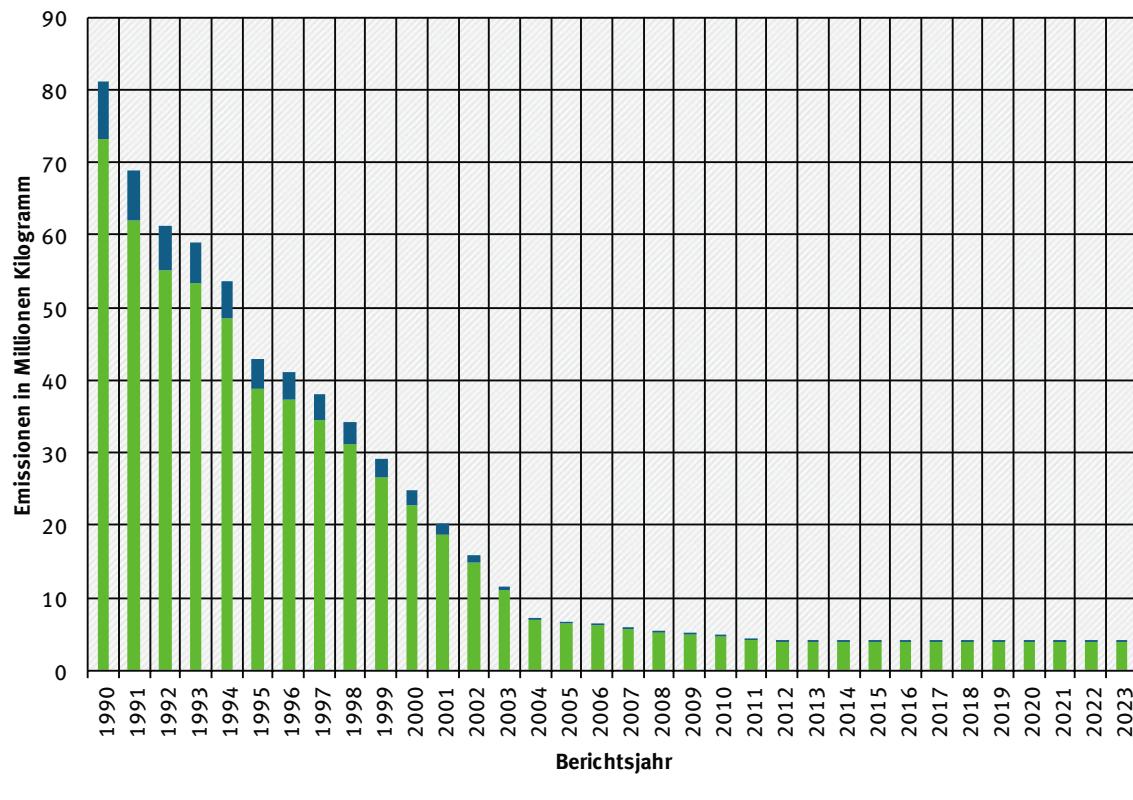
2.3 Auswirkungen

Für die Submission 2026 sind keine größeren Änderungen vorgesehen. Lediglich die Umbuchungen der Lageremissionen, wie im Kapitel 4.1 beschrieben, führen zu einer leichten Erhöhung der Emissionen, die in der Kategorie 2.B entsprechend niedriger sein werden. Dies wird an dem in Abbildung 2 angegebenen Verhältnis kaum Auswirkungen haben.

Die Abbildung 1 zeigt den Emissionstrend der Kategorie 1.B.2.a.iv „Verarbeitung von Öl“. Ab 2004 kommen die Auswertungen der Emissionserklärung zum Tragen. Davor basiert die Berechnung auf VDI-Richtlinien-Werten und Schätzungen. Der starke Abfall in den frühen 1990er Jahren kommt zudem durch die Umgestaltung der ostdeutschen Industrie.

Abbildung 1: VOC-Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iv "Verarbeitung von Öl"

Aufteilung in NMVOC und CH₄

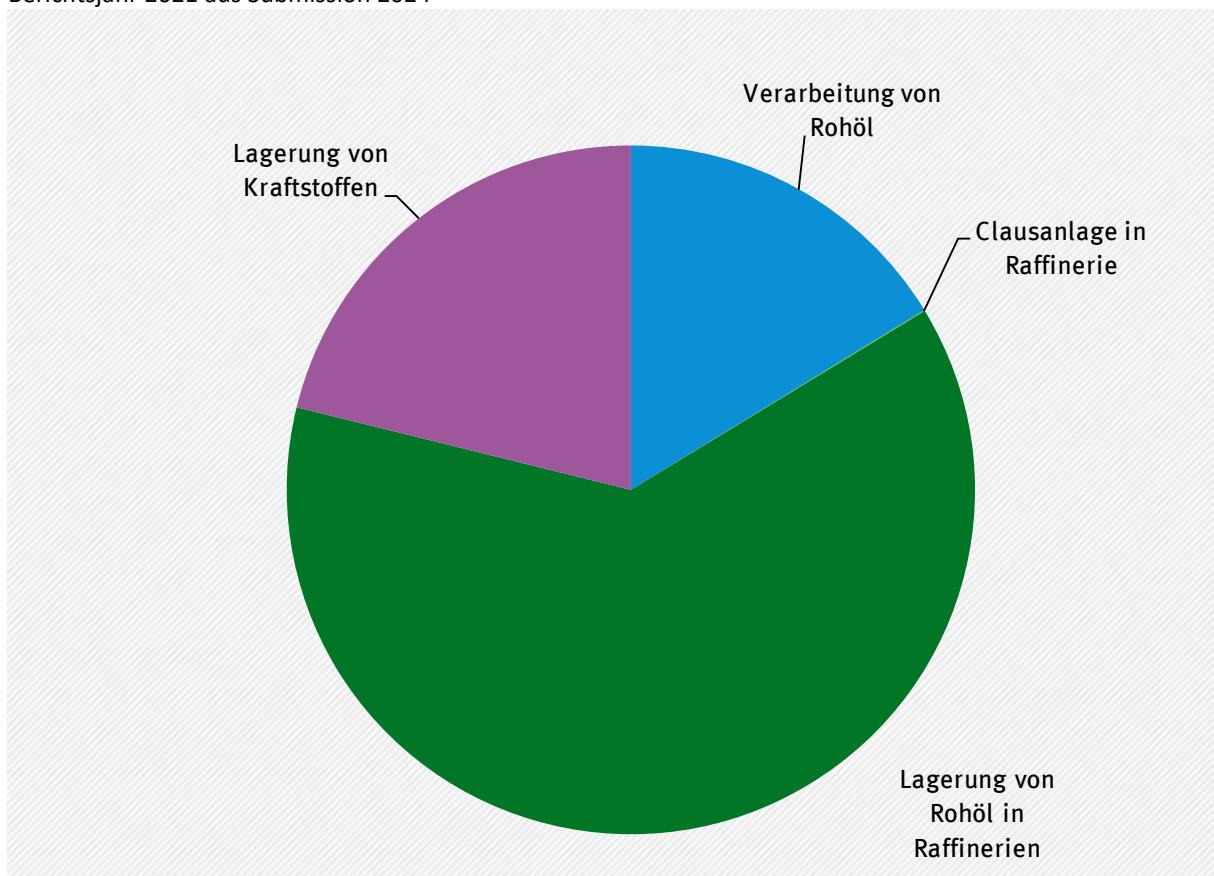


Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Inventardaten, Umweltbundesamt

Die Abbildung 2 zeigt die Aufteilung der VOC-Emissionen am Beispiel des Jahres 2021 aus der Submission 2024. Die Lagerung von Rohöl und Mineralölprodukten macht den größten Anteil der Kategorie aus.

Abbildung 2: VOC-Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iv "Verarbeitung von Öl"

Berichtsjahr 2021 aus Submission 2024



Quelle: eigene Darstellung auf Basis der Inventardaten, Umweltbundesamt

3 Transport und Reinigung

Tabelle 5: Aktivitäten unter „Transport von Mineralölprodukten und Reinigung von Transportmedien“

Kategorie nach IPCC	Aktivität nach ZSE
1.B.2.a.v (Distribution of Oil Products):	Reinigung von mit Mineralölprodukten beladenen Transportmedien (alle Kraftstoffe und Heizöl) Ventilierung von mit Mineralölprodukten beladenen Binnentankschiffen
2.B.10 (Storage of Chemical Products)	Reinigungsemissionen von mit chemischen Produkten befüllten Tanks

Aufteilung der Emissionen gemäß der ZSE-Struktur in der Submission 2025

3.1 Transport

Der Transport von Mineralölprodukten erfolgt per Straßentankwagen, Eisenbahnkesselwagen, Binnentankschiffen oder Pipeline. Direkte Emissionen beim Transport (zum Beispiel Permeation) sind nicht bekannt. Während des Transports sind die Behälter geschlossen, so dass es zu keinen Entweichungen von Emissionen kommen kann.

Lediglich beim Umschlag der Produkte, beim Ventilieren von Schiffstanks und bei der Reinigung der Transportmedien treten Emissionen auf. Dies wird in den folgenden Kapiteln näher betrachtet.

3.2 Reinigung

Für Wartungen, Prüfungen und zu Reparaturzwecken sowie bei Produktwechseln werden Tanks und Transportmittel geleert und gereinigt. In Deutschland werden Mineralölprodukte per Pipeline, Eisenbahnkesselwagen, Tankschiffen und Straßentankwagen transportiert und in Lagern zwischengelagert. Zur Abschätzung der bei den Reinigungsvorgängen entstehenden Emissionen wurden mehrere Studien in Auftrag gegeben und deren Ergebnisse hier aufgeführt.

3.2.1 Tanklager

Für Tankprüfungen und zu Reparaturzwecken sowie bei Produktwechseln werden Tanks geleert und gereinigt. Die Rohöltankreinigung ist aufgrund der Sedimentabsetzungen wesentlich aufwendiger als bei Produkttanks. Diese enthalten keine sedimentierbaren Stoffe und werden deshalb nur bei Produktwechseln gereinigt. Die Emissionen bei der Reinigung von Mineralölprodukten entstehen bei der Öffnung des vorher entleerten Tanks und unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Maßnahmen zur Abluftreinigung bzw. Nachverbrennung.

Theloke hat die Emissionserklärungen von 2004 und 2008 ausgewertet (Theloke et al., 2013). Reinigungsaktivitäten wurden nur bei drei Anlagen angegeben, wobei es keine Differenzierung zwischen Produkt- und Rohöltanks gab. (von Müller & Bender, 2020) haben zudem noch die Emissionserklärungen von 2012 und 2016 ausgewertet, wobei es in 2016 keine Daten für Reinigungsvorgänge gab. Generell werden Reinigungen nur sehr selten in den Erklärungen angegeben. Zimmermann hat Statistiken ausgewertet und Betreiber befragt (Anhang B in Studie (Zimmermann, 2024)), kam aber letztlich zu dem Schluss, dass der Wert aus der DGMK-Studie (Müller-Heuser, 2000) von 0,5 kg VOC je m² Tankbodenfläche bzw. umgerechnet 0,025 kg VOC je m³ Tankkapazität am plausibelsten ist (Zimmermann, 2024)- (Kapitel 2.11).

Tabelle 6: Abschätzung von Emissionsfaktoren aus Daten der Emissionserklärungen

Aus (Theloke et al., 2013) (Kapitel 4.4.6) und (von Müller & Bender, 2020) (Kapitel 6.11)

	EF NMVOC	EF CH ₄
Reinigung von Tanks nach (Zimmermann, 2024)	20,43 g/t	1,07 g/t
Reinigung von Tanks nach (Theloke et al., 2013)	38,17 g/t	0,14 g/t
Reinigung von Tanks aus Emissionserklärungen 2004 nach (von Müller & Bender, 2020)	40 g/t	Keine Daten
Reinigung von Tanks aus Emissionserklärungen 2008 nach (von Müller & Bender, 2020)	25 g/t	Keine Daten
Reinigung von Tanks aus Emissionserklärungen 2012 nach (von Müller & Bender, 2020)	6 g/t	Keine Daten

Die Emissionsfaktoren beziehen sich auf Rohölmengen (Dichte 0,86 t/m³) – nur zur Vergleichbarkeit umgerechnet. Für die Emissionsberichterstattung werden die Angaben von Zimmermann in m³ Tankvorlumen genommen.

In einem Fachgespräch zwischen Ökopol und UBA mit dem europäischen Mineralölfachverband CONCAWE (am 15.11.23 per Videokonferenz) wurde bestätigt, dass kaum Emissionen bei Reinigungsvorgängen entstehen. Nach Verbandsaussagen werden im Lagerbereich die Emissionen von Betreibern überwacht, um die Arbeitssicherheit zu gewährleisten (Explosionsschutz), und entstehende Emissionen werden abgefackelt. Allerdings ergaben Interviews von Zimmermann (Zimmermann, 2024) – (Kapitel 2.1.1) mit Fachexperten/-expertinnen, dass in der Praxis noch häufig eine Tanköffnung ohne Anschluss an Fackelanlagen erfolgt. Zimmermann schätzt, dass nur bei der Hälfte aller Reinigungsvorgängen entweichende Gase einer Abfackelung zugeführt werden. Durch den Anschluss an mobile Fackeln werden die VOC-Emissionen auf etwa 0,5 % gemindert. Neben der zunehmenden Anbindung einer Fackel kommt ein weiterer Aspekt für die sinkenden VOC-Emissionen zum Tragen. Es wurden nach (Zimmermann, 2024) in den letzten Jahrzehnten verstärkt Schwimmdachtanks verwendet. Dabei verringert sich das Restvolumen des Tanks nach Absenken des Dachs auf etwa 40 % des ursprünglichen Volumens (Zimmermann, 2024) – (Kapitel 2.1.1).

Unter Berücksichtigung des Fackeleinsatzes und der Reinigungsintervalle ermittelte Zimmermann die Emissionsfaktoren im Anhang D1. Exemplarisch für 2021 ist der Faktor 0,00126 kg VOC/m³ Kapazität.

Methanemissionen entstehen vor allem bei Rohölen und in abgelagerten Schlämmen durch methanbildende Bakterien. Bei den Produkten, insbesondere bei den Destillaten, werden so gut wie keine erwartet. Die Daten in der Tabelle 6 von Zimmermann mit 5 % Anteil sind eine sehr konservative Annahme, die hauptsächlich auf Untersuchungen von (Bender, 2009) bei gasförmigen Produkten fußen.

Die Aktivitätsraten der Tanklager werden von der BAFA erhoben und in der „Mineralöltanklager-Erhebung der Bundesrepublik Deutschland“ jährlich veröffentlicht. Diese werden gemäß dem Ansatz von Zimmermann Kapitel 2.1.2 mit den Reinigungsintervallen verschnitten.

- Reinigungsintervall für 1990 bis 2011: acht Jahre
- Reinigungsintervall für 2012 bis 2021: zehn Jahre

Die Zwischenwerte werden mittels linearer Interpolation ermittelt.

Die genannten Emissionsfaktoren beziehen sich auf alle Mineralölprodukte. Um eine Aufteilung in die IPCC bzw. NFR-Struktur zu ermöglichen, wird der Aufteilung der Emissionen nach (Zimmermann, 2024) gefolgt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Aufteilung der Emissionen

Nach (Kapitel 3.1) aus (Zimmermann, 2024)

Kategorie nach IPCC	Anteil an den Gesamtemissionen aus der Lagerung
1.B.2.a.v (Distribution of Oil Products)	80 %
2.B.10 (Storage of Chemical Products)	20 %

Aufteilung der Emissionen gemäß der ZSE-Struktur in der Submission 2025

3.2.2 Binnentankschiffe

Emissionen entstehen hauptsächlich beim Ventilieren und beim Reinigen von Binnentankschiffen. Gereinigt werden diese bei Produktwechseln sowie bei Werftaufenthalten. Emissionen ergeben sich aus der Emission von Produktresten im Tank (Zimmermann, 2024) – (Kapitel 2.2).

Das Ventilieren in die Atmosphäre vor geplanten Werftaufenthalten ist nach (Bauer, Polcher, & Greßmann, 2010) häufig der Fall. Es gibt jedoch in Deutschland vereinzelte, teils mobile Entgasungsanlagen (Zimmermann, 2024) – (Kapitel 2.2). Während in den 1990er Jahren noch gut 40 % der Kraftstoffe mittels Binnentankschiffen transportiert wurden (Von Winkler, 2004), sind es in den 2000er Jahren nur noch 20 %. Für das Ventilieren hat Theloke (Theloke et al., 2013) – (Seite 46) einen mittleren Emissionsfaktor von 0,35 kg/t für den kompletten in Deutschland abgesetzten Ottokraftstoff für 1990 angegeben. Ab 2000 wird ein Wert von 0,175 kg/t und ab 2010 0,025 kg/t angenommen. In Ermangelung neuerer Erkenntnisse wurde dieser Wert weiter fortgeschrieben. Für den Reinigungsvorgang ist nach (Joas et al., 2004) das Emissionsverhalten von Eisenbahnkesselwagen und Schiffstanks ähnlich. Da nur 1 % aller Binnentankschiffe ventiliert werden (Joas et al., 2004) und daher auch maximal dieser Anteil gereinigt wird, wurde der EF von 0,043 kg/t mit 1 % multipliziert und übertragen, so dass man die komplett in Deutschland transportierte Menge per Binnentankschiff mit diesem Faktor multiplizieren kann. Nach Experten-/Expertinnenschätzungen (Hoffmann und Krause 2004) wurden im Jahr 2000 noch 50 % der Schiffe ventiliert und meist auch gereinigt. Ein Emissionsfaktor von 0,215 kg/t wurde dafür hergeleitet, indem der Wert von (Joas et al., 2004) – gültig für 1 % aller Schiffe - mit 50 multipliziert wurde. Nach Zimmermann Kapitel 2.2 zeigt sich diese Annahme aber nicht, und es konnte nicht abschließend geklärt werden, woher diese Annahme stammt. Es wird daher künftig mit den Werten von Zimmermann gerechnet. Da in (Zimmermann, 2024) Kapitel D2 jedoch die Emissionsfaktoren in kg/Vorgang sind, müssen diese für eine Vergleichbarkeit umgerechnet werden. Hierzu werden die in Zimmermann, Tabelle 21 angegebenen Emissionen durch die transportierte Menge in Tabelle 6 geteilt. Für 2021 ergibt dies einen Emissionsfaktor von 0,0254 kg/t für Ventilierung und Reinigung für die in Deutschland transportierte Menge an Kraftstoffen per Binnentankschiff. (Zimmermann, 2024) – (Tabelle 21) nimmt für die Produkte einen Methananteil von maximal 7,5 % an.

Zur Gewinnung einer geeigneten Aktivitätsrate werden die Anzahl der Binnentankschiffe und zu den transportierten Mengen aus Statistiken von Destatis herangezogen. Untersuchungen von Zimmermann (Kapitel 2.2) zeigen, dass die transportierten Mengen nahezu konstant sind, jedoch die Anzahl der Schiffe stetig steigt. Dies ist auf den Trend zunehmender Niedrigwassertage zurückzuführen. Da mehr Schiffe auch mehr Wartungen bedeuten, wirkt sich

die Aktivitätsrate emissionssteigernd auf den Trend aus, obwohl die Emissionsfaktoren eher auf einen fallenden Trend deuten.

Die genannten Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten beziehen sich auf alle Mineralölprodukte. Um eine Aufteilung in die IPCC bzw. NFR-Struktur zu ermöglichen, wird der Aufteilung der Emissionen nach Zimmermann gefolgt (Tabelle 11 für Reinigung, Tabelle 7 für Aktivitätsraten). Dort wurde eine Bandbreite angegeben. Die Daten der Tabelle 8 wurden aus Konsistenzgründen von Fachexperten/-expertinnen des UBA für die Emissionsberichterstattung festgelegt.

Tabelle 8: Aufteilung der VOC-Emissionen nach Gütergruppen und Berichtskategorien

Kategorie	flüssige Mineralölprodukte	gasförmige, verflüssigte, verdichtete Mineralölprodukte
1.B.2.a.v	80 %	50 %
2.B.10	20 %	50 %

Quelle: (Tabelle 22) aus (Zimmermann, 2024)

3.2.3 Pipelines

Reinigungen von Pipelines erfolgen durch das Molchverfahren. Dazu wird ein Molch mit Stickstoff durch die Leitung gedrückt und anschließend in einer Schleuse entnommen und gewaschen. Der Stickstoff wird in einem Zyklon entspannt und die Abgase über einen Abscheider geführt. Nach (Zimmermann, 2024) – (Kapitel 2.1) können Emissionen bei Reinigungsvorgängen als marginal angesehen werden. Emissionen werden daher als null angenommen.

Theloke führt im Kapitel 3.6.2 (Theloke et al., 2013) einen Emissionsfaktor von 0,00055 kg/t auf. Es wird jedoch erwähnt, dass dieser Faktor für Rohöl gilt. Daher wird dieser EF für die Mineralölprodukte nicht berücksichtigt.

Winkler schreibt in der Zeitschrift ERDÖL ERDGAS KOHLE 120. Jg. 2004, Heft 10 Seite 313 (Von Winkler, 2004): „Etwa jedes dritte Zwischenlager wird allerdings über Pipelines versorgt, die als Transportmittel keine nennenswerten zusätzlichen Emissionen verursachen. Die Einspeisung in die Pipeline geschieht wie im Transport innerhalb der Raffinerie ohne die Verdrängung von Luft, [...].“ Daher wird für die Emissionsberichterstattung dieser Teil mit null berechnet.

3.2.4 Eisenbahnkesselwagen

Nach Untersuchungen von Zimmermann gibt es EU weit ca. 41.000 Kesselwagen, von denen 25.000 bis 27.000 für Kraftstoffe genutzt werden. Aufgeteilt geht die Studie davon aus, dass sie im Schnitt zu 1/3 mit Ottokraftstoff und 2/3 mit Dieselkraftstoff beladen werden. Das durchschnittliche Reinigungsintervall beträgt drei bis vier Jahre.

Nach (Joas et al., 2004) entweichen beim Öffnen des Mannlochs des Tanks schätzungsweise 14,6 m³ (16 %) des Tankinhalts. Nach (Weyer, 2003)-(Kapitel 06 04 12 F) enthält ein Kubikmeter eines entleerten Tanks 1 kg VOC-Emissionen bei einer Temperatur von 20 °C. Demnach ergeben sich pro Reinigungsvorgang Emissionen in Höhe von rund 15 kg.

Tabelle 9: VOC-Emissionen pro gereinigtem Kesselwagen

Emissionsquelle	VOC-Emissionen
Ungeminderte VOC-Emissionen beim Öffnen des Mannlochs nach (Joas et al., 2004) und (Weyer, 2003)	14,6 kg/Vorgang
Emissionen nach (Zimmermann, 2024)-(Anhang D.2 und Tabelle 19)	14,9 (NMVOC) kg/Vorgang für das Jahr 2021 0,8 (Methan) kg/Vorgang für das Jahr 2021

Es gibt in Deutschland keine Statistik, die die Anzahl der Eisenbahnkesselwagen erfasst. Zimmermann führt im Kapitel 2.3.2 einen Ansatz zur Abschätzung auf, dem das UBA folgt. Demnach wurden im Jahr 2021 zwischen 1.786 und 2.314 Reinigungsvorgänge durchgeführt.

Die genannten Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten beziehen sich auf alle Mineralölprodukte. Um eine Aufteilung in die IPCC bzw. NFR-Struktur zu ermöglichen, wird der Aufteilung der Emissionen nach Zimmermann gefolgt (Tabelle 10, Tabelle 7). Dort wurde eine Bandbreite angegeben. Die Daten der Tabelle wurden aus Konsistenzgründen von Fachexperten/-expertinnen des UBA für die Emissionsberichterstattung festgelegt. Bei den gasförmigen Brennstoffen handelt es sich in einer persönlichen Mitteilung von Zimmermann (03.09.24) hauptsächlich um LPG, Butan, Propan, Propylen, Butylen und Ethylengas. Daher wird der bisherige Ansatz, dass 100 % der gasförmigen Brennstoffe 2.B.10 zugeordnet werden, ab der Berichterstattung 2026 geändert.

Tabelle 10: Aufteilung der Emissionen aus der Reinigung von Kesselwagen auf die Berichtskategorien

Gütergruppen	Anteil 1.B.2.a.v	Anteil 2.B.10
Flüssige Mineralölerzeugnisse	80 %	20 %
Gasförmige, verflüssigte, verdichtete Mineralölerzeugnisse	50 %	50 %

Quelle: (Tabelle 22) aus (Zimmermann, 2024)

Der in Tabelle 9 angegebene Emissionsfaktor kann in weiteren Berichterstattungen mangels Statistiken jedoch so nicht verwendet werden. Daher wird er auf die beförderte Menge umgerechnet. Hierzu werden die Emissionen nach Zimmermann (Kapitel 3.3) durch die transportierte Menge Kraftstoff aus der BAFA Mineralölstatistik (Inlandsablieferungen Tabelle 6.3) geteilt. Exemplarisch für das Jahr 2021 sind das 32.117 kg VOC-Emissionen und 68.743.809 t Kraftstoff. Dies ergibt den Faktor von 0,0047 kg/t. Dieser wird auf 95 % NMVOC und 5 % CH₄ aufgeteilt.

3.2.5 Straßentankwagen

Auf der Straße werden vor allem Otto- und Dieselkraftstoffe sowie Heizöl transportiert. Im kleineren Maßstab auch Flüssiggas, Flugturbinenkraftstoff, Schmierstoffe und chemische Produkte (Zimmermann, 2024). Die Reinigung von Straßentankwagen erfolgt teilweise wöchentlich. Die Reinigung erfolgt in speziellen Reinigungsanlagen entweder unter Druck oder mit geöffnetem Deckel. Bei der Reinigung unter Druck handelt es sich um ein geschlossenes Verfahren, bei dem der Inhalt mit Hilfe eines Schlauchs und einer Abluftanlage, die am Tank angebracht sind, unter Druck abgesaugt wird. Bei der Reinigung mit geöffnetem Deckel wird der Tank geöffnet und kaltes, warmes oder heißes Wasser eingespritzt. Je nach Füllstoff und Verschmutzungsgrad können auch Reinigungsmittel (alkalische Reiniger) zum Einsatz kommen (Zimmermann, 2024) – (Kapitel 2.4). Allerdings ist nach Auskunft von Reinigungsbetrieben die

Reinigung unter Druck für Ottokraftstoffe nicht die Regel, so dass man eher mit dem höheren Emissionsfaktor pro Vorgang rechnen muss. Es wird daher dem Ansatz von Zimmermann Kapitel 3.4 gefolgt und konservativ mit 90 % ohne und 10 % unter Druck gerechnet. Das ergibt einen Emissionsfaktor von 3,1 kg VOC/Tankfahrzeug. Die Daten werden gemäß den Empfehlungen von Zimmermann zu 95 % NMVOC und 5 % Methan aufgeteilt.

Tabelle 11: VOC-Emissionen pro gereinigtem Tankwagen

Emissionsquelle	VOC-Emissionen [kg]
VOC-Emissionen pro Reinigungsvorgang nach (Zimmermann, 2024)-(Anhang D.4)	1,88 - 3,47

Zur Herleitung der Aktivitätsrate werden Statistiken des Kraftfahrtbundesamtes herangezogen. Zimmermann hat im Kapitel 2.4.2 die methodischen Brüche bei den Erhebungen bis und ab 2011 aufgeführt, was das UBA so umsetzen wird. Ferner wird angenommen, dass ein Tankwagen ein durchschnittliches Volumen von 24 m³ aufweist und einmal pro Woche gereinigt wird.

Befragungen von Transportunternehmen haben ergeben, dass ein größerer Anteil der transportierten Mineralölprodukte Kraftstoffe und nur ein kleinerer Anteil chemische Produkte sind. Die Daten der Tabelle 12 wurden aus Konsistenzgründen von Fachexperten/-expertinnen des UBA für die Emissionsberichterstattung festgelegt.

Tabelle 12: Aufteilung der Emissionen aus der Reinigung von Tankwagen auf die Berichtskategorien

Anteil 1.B.2.a.v	Anteil 2.B.10
70 %	30 %

Quelle: (Tabelle 24) aus (Zimmermann, 2024)

Da der Methodenbruch in den Statistiken auch zu einem Bruch in den Emissionszeitreihen führen würde (Zimmermann, 2024) – (Kapitel 2.4.2), wird eine andere Bezugsgröße verwendet. Hierzu werden die Emissionen nach Zimmermann (Kapitel 3.4) durch die transportierte Menge Kraftstoff aus der BAFA Mineralölstatistik (Inlandsablieferungen Tabelle 6.3) geteilt. Exemplarisch für das Jahr 2020, 2.148.261 kg VOC-Emissionen (10 % Reinigung unter Druck) und 68.743.809 t Kraftstoff. Dies ergibt den Faktor von 0,031 kg/t. Dieser wird auf 95 % NMVOC und 5 % CH₄ aufgeteilt.

3.3 Auswirkungen

Ab der Berichterstattung 2026 wird Deutschland die in Tabelle 13 aufgelisteten Emissionsfaktoren für die Reinigung von Transportmitteln und Tanks verwenden.

Tabelle 13: Emissionsfaktoren aus der Reinigung von Mineralölproduktentanks und - transportmittel ab der Berichterstattung 2026

	EF NMVOC	EF CH ₄
Reinigung von Pipelines	0 kg/t	0 kg/t
Reinigung von Tankschiffen	0,0235 kg/t	0,002 kg/t
Reinigung von Straßentankwagen	0,029 kg/t	0,00155 kg/t

	EF NMVOC	EF CH ₄
Reinigung von Eisenbahnkesselwagen	0,0045 kg/t	0,00024 kg/t
Reinigung von Tanklagern	0,0012 kg VOC/m ³ Kapazität	0,00006 kg/m ³ Kapazität

Die Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten beziehen sich auf das Jahr 2021. Die Angabe t =Tonne bezieht sich auf die transportierte Menge an Kraftstoffen. Die Angabe m³ bezieht sich auf die Tanklagerkapazität.

Die daraus resultierenden NMVOC-Emissionen werden in Tabelle 14 exemplarisch für das Jahr 2021 aufgeführt. Abweichungen der dort angegebenen Emissionen zu denen in der Primärliteratur beruhen auf Rundungseffekte bei der Herleitung der Emissionsfaktoren für das ZSE. Diese Differenzen befinden sich innerhalb der Unsicherheit gemäß Zimmermann Kapitel 4.

Tabelle 14: NMVOC-Emissionen aus der Reinigung von Mineralölproduktentanks und - transportmittel für das Jahr 2021 in der Berichterstattung 2025 und 2026

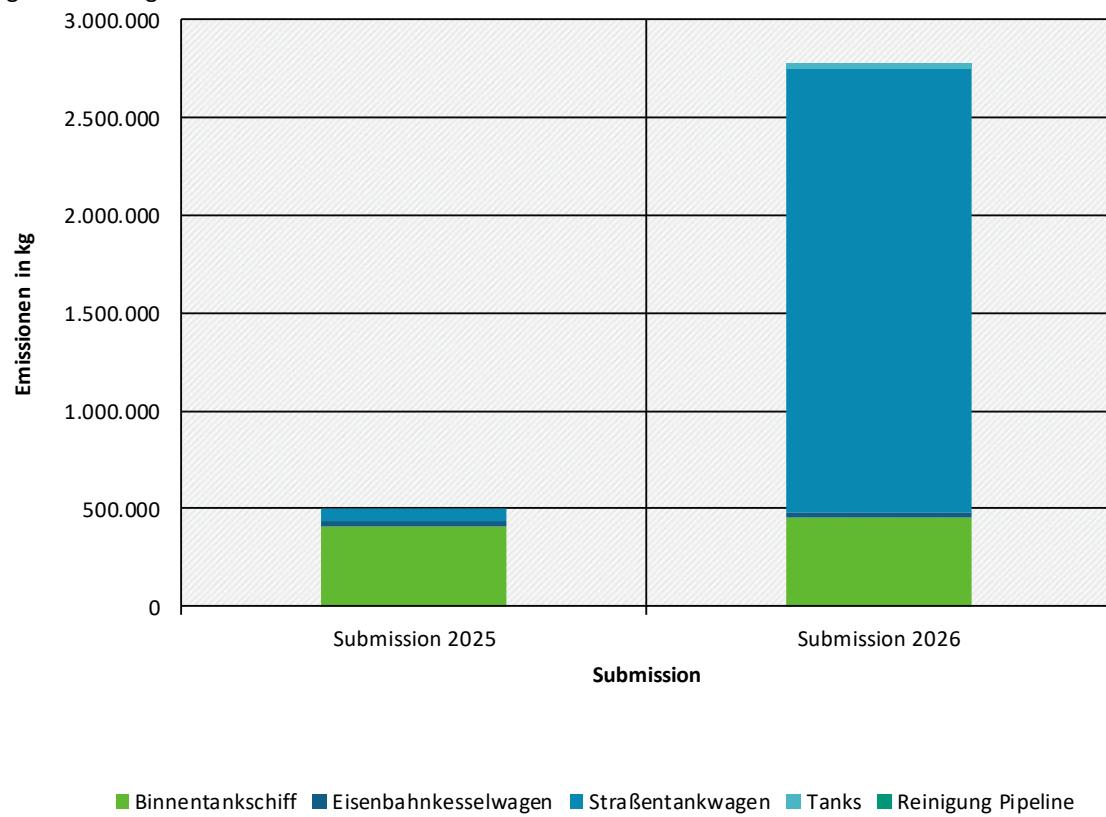
	NMVOC für 2021 in der Berichterstattung 2025	NMVOC für 2021 in der Berichterstattung 2026	Änderung
Reinigung von Pipelines	0 kg	0 kg	0 %
Reinigung und Ventilierung von Tankschiffen	410.778 kg	453.768 kg	10 %
Reinigung von Straßentankwagen	59.807 kg	2.263.987 kg	3685 %
Reinigung von Eisenbahnkesselwagen	29.560 kg	32.117 kg	9 %
Reinigung von Tanklagern	Emissionen in der „Lagerung“ mit integriert	27.385 kg	n.A.

Die Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten beziehen sich auf das Jahr 2021 Gesamt-VOC-Emissionen der angesprochenen Prozesse. Die Aufteilung in die CRF Kategorien 1.B.2. und 2.B.10 erfolgt nach den in den Kapiteln angegebenen Splitfaktoren.

Dadurch werden sich rückwirkend die Emissionen ändern (Abbildung 3). Man erkennt sofort die bisher unterschätzten Reinigungsemissionen bei Straßentankwagen. Da die Reinigung von Tanks bisher unter Lagerung subsummiert war, werden diese Emissionen in der Submission 2026 erstmals separat ausgewiesen.

Abbildung 3: Gegenüberstellung Submission 2025 mit Submission 2026 für das Berichtsjahr 2023

Angaben in Kilogramm NMVOC



Das Jahr 2023 einmal nach der bisherigen Methode (Submission 2025) und nach der überarbeiteten Methode (Submission 2026).

[Quelle: eigene Darstellung, Umweltbundesamt]

4 Lagerung

4.1 Lagerung von Mineralölprodukten

Tabelle 15: Aktivitäten unter „Lagerung von Mineralölprodukten“

Kategorie nach IPCC	Aktivität nach ZSE
1.B.2.a.iv (Refining and Storage)	Lagerung von Mineralöl in Kavernenspeichern Lagerung von Mineralöl in raffineriefernen Tanklagern Lagerung von Rohöl und Mineralöl in Raffinerien und Pipelineterminals
2.B.10 (Storage of Chemical Products)	Lageremissionen von chemischen Produkten

Aufteilung der Emissionen gemäß der ZSE-Struktur in der Submission 2025

Raffinerietanklager enthalten Rohöle als auch Zwischen- und Fertigprodukte. Nach einem Vorschlag von (Bender & Langer, 2009)-(Kapitel 5.2.4) werden diese getrennt nach Produkt und Standort im ZSE betrachtet. In den Analysen von Theloke (Theloke et al., 2013) – (Kapitel 4.4) wurden Werte aus der VDI-Richtlinie 2440: „Emissionsminderung Mineralölraffinerien“ (VDI, 2000), Auswertungen von (Bender, 2009) sowie Emissionserklärungen von 2008 herangezogen. Nur wenige Daten aus den Emissionserklärungen konnten verwendet werden, da in einigen Fällen die Bezeichnung des emissionsverursachenden Vorganges nicht eindeutig zuzuordnen war. Des Weiteren sind fast alle angegebenen Emissionen geschätzt oder auf Basis eingangs erwähnter VDI-Richtlinie 2440 berechnet worden (Tabelle 16). Dort wird ein Wert von 160 g Kohlenwasserstoffverlust je Tonne Rohöldurchsatz angegeben. Davon abgeleitet wurde der Anteil von fünf bis zehn Prozent für Methan, aus Analysen von (Bender & Langer, 2009) – (Kapitel 3.2.1). Auch Untersuchungen von (Köhler & Krause, 2024) gehen von Methanemissionen aus, die jedoch in einem größeren prozentualen Verhältnis stehen. Da es sich bei diesen Untersuchungen nur um eine einzelne Messung handelt, werden diese nicht mit einbezogen.

Dem gegenüber stehen die aus den Emissionserklärungen ermittelten Faktoren von (Theloke et al., 2013) und (von Müller & Bender, 2020). Da die meisten Faktoren in den Emissionserklärungen nach VDI-Richtlinie 2440 berechnet wurden, müssten die Faktoren in einer ähnlichen Größenordnung liegen. Nach persönlichen Aussagen von Bender (Fachgespräch vom 11.03.2009) lagen 2004 nur sehr wenige Datensätze mit einer sehr hohen Streubreite vor. Außerdem waren Werte mit anderen Prozessen (zum Beispiel Verladung und Reinigung) zusammengefasst. Dennoch konnte nicht abschließend geklärt werden, warum es bei späteren Analysen (Tabelle 17) solche Unterschiede gab.

Tabelle 16: Abschätzung von Emissionsfaktoren aus Daten der Emissionserklärungen 2004 und 2008 nach 11. BImSchV.

Aus (Bender, 2009)-(Kapitel 5) und (Theloke et al., 2013)-(Kapitel 4.4.7.5)

	EF NMVOC	EF CH ₄
Lagerung flüssiger Produkte	100 g/t	5 g/t
Lagerung gasförmiger Produkte	500 g/t	150 g/t
Lagerung von Rohölen	150 g/t	10 g/t

Die Emissionsfaktoren beziehen sich auf gelagerte Rohölmengen.

Tabelle 17: Emissionsfaktoren für den Bereich „Lagerung in Raffinerien“ auf Basis der ausgewerteten Emissionserklärungen 2004 - 2016

Aus (Theloke et al., 2013)-(Kapitel 4.4.7.2) und von (von Müller & Bender, 2020)-(Kapitel 6.6 und 6.10)

	EF NMVOC	EF CH ₄
Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten (gemittelt aus Emissionserklärungen 2004 und 2008) ((Theloke et al., 2013)-(Kapitel 4.4.7.2))	38,3 g/t	0,14 g/t
Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten (Emissionserklärung 2004) nach (von Müller & Bender, 2020)	31,8 g/t	0,021 g/t
Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten (Emissionserklärung 2008) nach (von Müller & Bender, 2020)	25,4 g/t	0,226 g/t
Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten (Emissionserklärung 2012) nach (von Müller & Bender, 2020)	24,3 g/t	Keine Daten
Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten (Emissionserklärung 2016) nach (von Müller & Bender, 2020)	22,7 g/t	0,270 g/t

Die Emissionsfaktoren beziehen sich bei (von Müller & Bender, 2020) auf gelagerte Rohölmenge, bei (Theloke et al., 2013) auf die Rohöldurchsatzkapazität.

Festzuhalten ist, dass die Daten aus den Emissionserklärungen nach (von Müller & Bender, 2020) und (Theloke et al., 2013) deutlich unter denen von (Bender, 2009) liegen. Da die Abweichungen nicht erklärt werden konnten, wurden die Emissionen der Mineralölproduktlagerung in raffineriefernen Tanklagern mit den Werten aus (Bender, 2009) konservativ berechnet.

Ein bisher unveröffentlichter Bericht eines Messvorhabens der Uni Magdeburg (Köhler & Krause, 2024) zeigt, dass die Emissionen an einem Schwimmdachtank erheblich unter denen aus Tabelle 16 und Tabelle 17 liegen. In den Untersuchungen wurden an einem Schwimmdachtank Spotmessungen mittels Infrarotdetektor, hochauflösendem Photoionisationsdetektor, Infrarotkamera und Fourier-Transformiertem-Infrarot-Spektrometer durchgeführt sowie eine Langzeitmessung mit Diffusionssammlern vorgenommen. Es zeigte sich, dass die Messwerte über dem Tankdach zwischen Null und einem niedrigen einstelligen ppm-Wert schwankten. Im Ergebnis kommen (Köhler & Krause, 2024) zu dem Schluss, dass die aktuell zur Anwendung kommenden Faktoren und Modelle zur Emissionsberechnung die freigesetzte Menge an VOC um Größenordnungen überschätzen.

Da dies nur eine Einzelmessung war, muss nun eine umfangreiche Untersuchung angedacht werden, die statistisch repräsentativ die Daten validiert. Daher wird ab der Berichterstattung 2026 zunächst auf die Werte aus den Emissionserklärungen nach (von Müller & Bender, 2020) zurückgegriffen.

Deutschland hat bis zur Berichterstattung 2022 Lageremissionen aller in Raffinerien erzeugter Brennstoffe und chemischen Produkten unter 1.B.2.a berichtet. Dies führte dort zu hohen Emissionen im Vergleich zu anderen Ländern der EU und wurde von Reviewern und Fachexperten/-expertinnen kritisiert. Die IPCC Guidelines fordern für die Kategorie 1.B.2.a ausschließlich Emissionen aus Brennstoffen, während Lageremissionen chemischer Produkte in

den entsprechenden Kategorien der chemischen Industrie erfasst werden sollen: „[...] Many products are directly used in the chemical industry and should be considered in the appropriate subcategory (e.g. Volume 2 Chapter 3). [...] (IPCC, 2019)“. Ebenso verfährt das “EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook: “[...] emissions from the production of primary petrochemicals are not included [in 1.B.2.a], even if these chemicals are produced at a petroleum refinery. Refer to Chapter 2.B “Chemical industry for guidance on estimating emissions from the chemical industry”. [(European Environment Agency, 2023)- 1.B.2.a.iv Fugitive emissions oil - Refining, storage]”.

Aus statistischen Gründen können nicht alle Mineralölprodukte erfasst werden. Daher wurde seit der Berichterstattung 2022 folgende Überlegung herangezogen, um die Emissionen auf die beiden Kategorien aufzuteilen: Ottokraftstoff und Naphtha bilden die mit Abstand größte Gruppe der emissionsverursachenden Raffinerieprodukte. Beide Produkte werden statistisch separat erfasst. Um eine Aufteilung in beide Kategorien realitätsnah abzubilden, wurde ein Splitfaktor aus dem Verhältnis Ottokraftstoff zu Naphtha gebildet. Die NMVOC-Emissionen aus der Lagerung flüssiger Produkte wurden gemäß Splitfaktor dann in die Kategorien aufgeteilt. Bis einschließlich der Berichterstattung 2025 wurden die CH₄-Emissionen komplett nach 2.B.10 verlagert, da nach Aussagen von Fachexperten/-expertinnen und nach den IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006)-(Band 2, Kapitel 4) keine Methanemissionen bei Kraftstoffen zu erwarten sind (siehe Tabelle 21).

Nach den Auswertungen von Zimmermann und den Analysen von (Bender & Langer, 2009) und (Köhler & Krause, 2024) sind Methanemissionen jedoch nicht auszuschließen. Daher werden künftig 5 % der Kategorie 1.B.2 zugeordnet. Ebenfalls wurden die NMVOC-Emissionen der gasförmigen Produkte bisher komplett nach 2.B.10 verlagert, da angenommen wird, dass keine gasförmigen Brennstoffe in die Verteilung¹ gehen. Wie in 3.2.4 aufgeführt, gibt es durchaus gasförmige Brennstoffe, so dass künftig mit der Aufteilung aus Tabelle 13 gerechnet wird.

Tabelle 18: bisherige Methode (Submission 2025) am Beispiel des Jahres 2021

	1.B.2.iv	2.B.10	Bezug
Lagerung in Raffinerien (Rohöl und Produkte)	18.208 kg	0 kg	CH ₄
Lagerung in Raffinerien (Rohöl und Produkte)	2.398.369 kg	0 kg	NMVOC
Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern	0 kg	74.928 kg	CH ₄
Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern	817.502 kg	2.247.834 kg	NMVOC
Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern	0 kg	2.247.834 kg	CH ₄
Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern	0 kg	7.492.782 kg	NMVOC
Summe	3.234.079 kg	12.063.878 kg	VOC insgesamt

Diese Berechnungen werden im NID im Kapitel 4.3.10 (Günther et al., 2023) aufgezeigt.

¹ Unter „Verteilung“ wird die Definition nach den IPCC Guidelines 2006 Band 2 Kapitel 4 angewandt.

4.2 Auswirkungen

Ab der Berichterstattung 2026 wird Deutschland die in Tabelle 21 aufgelistete Aufteilung der Emissionen für die Lagerung von Mineralölprodukten verwenden.

Tabelle 19: Anteil der Emissionen aus der Lagerung von Mineralölprodukten ab der Berichterstattung 2026

	1.B.2.iv	2.B.10
Lagerung flüssiger Mineralölprodukte	80 %	20 %
Lagerung gasförmiger Mineralölprodukte	50 %	50 %

Ab dem Jahr 2004 werden die Emissionsfaktoren aus Tabelle 17 für NMVOC verwendet. Für Methan scheint 2004 ein Ausreißer zu sein, da er eine Größenordnung niedriger liegt als die anderen Jahre. Es werden daher 5 % der NMVOC-Emissionen angenommen, analog zu den Herleitungen von (Bender, 2009)(Kapitel 5). Für 1990 wird der bisherige Wert in Tabelle 19 beibehalten und dazwischen interpoliert.

Tabelle 20: Ableitung der Emissionsfaktoren für 1990 bis 2016

Aus (Theloke et al., 2013)-(Kapitel 4.4.7.2) und von (von Müller & Bender, 2020)-(Kapitel 6.6 und 6.10)

Emissionsfaktor für die Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten	EF NMVOC	EF CH ₄
1990 (gemittelt aus Werten für Rohöl und flüssigen Produkten)	107,8 g/m ³	6,5 g/m ³
1995 (Interpolation zwischen 1990 und 2004; Methan mit 5 % Anteil)	79,1 g/m ³	4,0 g/m ³
2000 (Interpolation zwischen 1990 und 2004; Methan mit 5 % Anteil)	50,3 g/m ³	2,5 g/m ³
2004 (Methan mit 5 % Anteil)	27,4 g/m ³	1,4 g/m ³
2008	21,9 g/m ³	0,2 g/m ³
2012 (Methan interpoliert zwischen 2008 und 2016)	20,9 g/m ³	0,2 g/m ³
2016	19,6 g/m ³	0,2 g/m ³

Die Emissionsfaktoren beziehen sich auf die gelagerte Rohölmenge – umgerechnet durch Dichte von 1,16 m³/t.

Die Werte ab 2016 werden mit dem letzten Emissionsfaktor aus den Emissionserklärungen berechnet. Zwar haben die Untersuchungen von (Köhler & Krause, 2024) gezeigt, dass auch diese Werte oder dieser EF noch zu hochgeschätzt sind, jedoch basieren diese auf einer einzigen Messung. Es ist angedacht, mittelfristig die Emissionserklärungen 2020 und 2024 auszuwerten und diese Faktoren dann zu aktualisieren.

Da laut (Zimmermann, 2024)-(Tabelle 22) der Anteil gasförmiger Produkte bei 6 % liegt, werden die mit den aus Tabelle 17 angegebenen Emissionsfaktoren ermittelten Emissionen zu 6 % den gasförmigen und 94 % den flüssigen Mineralölprodukten zugeordnet.

Tabelle 21: neue Methode (Submission 2026) am Beispiel des Jahres 2021

	1.B.2.iv	2.B.10	Bezug
Lagerung in Raffinerien (Rohöl und Produkte)	4.861 kg	0 kg	CH ₄
Lagerung in Raffinerien (Rohöl und Produkte)	408.665 kg	0 kg	NMVOC
Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern	2.623 kg	914 kg	CH ₄
Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern	527.842 kg	131.960 kg	NMVOC
Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern	2.623 kg	58 kg	CH ₄
Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern	33.692 kg	8.423 kg	NMVOC
Summe	980.306 kg	141.356 kg	VOC insgesamt

5 Verteilung

Tabelle 22: Aktivitäten unter „Verteilung von Mineralölprodukten“

Kategorie nach IPCC	Aktivität nach ZSE
1.B.2.a.v (Distribution of Oil Products)	Betankungsemissionen (alle Kraftstoffe und Heizöl) Tropfemissionen bei Tankvorgängen Umschlagemissionen (Transportmedium zu Tank)
2.B.10 (Storage of Chemical Products)	Umschlagemissionen von chemischen Produkten

Aufteilung der Emissionen gemäß der ZSE-Struktur in der Submission 2025

Diese Kategorie umfasst die Emissionen von Mineralölprodukten, die von einem Transportmedium in einen Zwischentank umgeschlagen werden beziehungsweise zum Endverbraucher gelangen. Etwaige Tropfverluste sind mitberücksichtigt.

5.1 Verteilung mittels Binnentankschiffen

Nach dem Transport von Kraftstoffen mittels Binnentankschiffen befinden sich in den entladenen Tanks noch erhebliche Mengen an Kraftstoffdämpfen. Bei Ladungswechsel oder Werftaufenthalt müssen diese entgast werden. Dies ist aber bereits unter im Kapitel 3.2.2 mitberücksichtigt.

5.2 Direktemissionen bei der Betankung von Fahrzeugen und der Verteilung von Heizöl

Beim Umfüllen aus Tankfahrzeugen in Lagertanks und bei der Betankung von Kraftfahrzeugen gelangt eine bedeutsame Menge an diffusen Emissionen von VOC in die Umwelt.

5.2.1 Ottokraftstoff

Zur Ermittlung der Emissionen beim Umschlag von Ottokraftstoffen wird ein einheitlicher Emissionsfaktor von 1,4 kg/t herangezogen. Dies entspricht der Sättigungskonzentration von Kohlenwasserstoffdämpfen und damit der maximal möglichen Emissionsmenge ohne Minderungsmaßnahmen. Ermittelt wird dieser massenbezogene Wert durch die Dichte von Ottokraftstoff von gemittelt 0,75 t/m³ und der volumetrischen Sättigungskonzentration von 1,05 kg/m³, sprich: 1,05 kg/0,75 t. Diese Herleitung ist (Von Winkler, 2004) entnommen.

Mit den 1992 und 1993 in Kraft getretenen immissionsschutzrechtlichen Vorschriften (20.BImSchV, 2017; 21.BImSchV, 2017) für Tankstellen zur Begrenzung dieser Emissionen wurden Minderungsmaßnahmen gefordert. Diese umfassen die Installation von Gaspendelungs- (20. BImSchV) und Gasrückführungssystemen (21. BImSchV) und der Einsatz von automatischen Überwachungseinrichtungen (mit der Novellierung der 21. BImSchV am 6.5.2002).

Für die Berechnung der Emissionen werden die Anwendungs- und Wirkungsgrade der beiden Verordnungen auf den Tankstellenbestand mitberücksichtigt. Für die Berechnung der Emissionen wird dann folgende Formel herangezogen:

$$\text{Emission} = \text{Aktivitätsrate} * \text{ungeminderter Emissionsfaktor} * (\text{Anwendungsgrad} * (1 - \text{Wirkungsgrad}) + (1 - \text{Anwendungsgrad}))$$

Die Variablen werden jährlich von Experten/Expertinnen des UBA abgeschätzt und im Informativen Inventarbericht (IIR) veröffentlicht (Kotzulla et al., 2023)-(Kapitel 1.B.2.a).

Beispielhaft für das Jahr 2021 wurden die Daten in Tabelle 23 verwendet.

Tabelle 23: Anwendungs- und Wirkungsgrad der 20. und 21. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) an Tankstellen im Jahr 2021

Verordnung	Anwendungsgrad	Wirkungsgrad
Gaspendelung (20. BImSchV)	98 %	98 %
Gasrückführung (21. BImSchV)	98 %	85 %

5.2.2 Dieselkraftstoff

(Theloke et al., 2013) nimmt im Kapitel 4.6.2 für die Bestimmung eines Emissionsfaktors an, dass Dieselkraftstoff zu 65 % direkt von Raffinerien zu Tankstellen und zu 35 % mit einem Umweg über ein Zwischenlager umgeschlagen wird. Ferner wird eine Sättigungskonzentration von 0,003 kg/t, basierend auf (Von Winkler, 2004) und der VDI-Richtlinie 3479 (VDI, 2010) Tabelle 3, angenommen. Entsprechend wird für den Umschlag Raffinerie zu Transportfahrzeug ein Faktor von 0,008 kg/t und für die Betankung eines Fahrzeuges die Sättigungskonzentration von 0,003 kg/t angenommen. Die Vorschriften der 20. und 21. BImSchV finden bei Dieselkraftstoffen keine Anwendung. Daher werden für die Emissionsberechnung diese beiden Faktoren kontinuierlich fortgeschrieben.

5.2.3 Heizöl

Heizöl ist dem Dieselkraftstoff sehr ähnlich. Daher wird auch hier die gleiche Sättigungskonzentration verwendet. Theloke schlägt im Kapitel 4.6.2 (Theloke et al., 2013) vor, einmal den Umschlag von der Raffinerie zum Transportfahrzeug mit 0,0053 kg/t und einmal die Umschlagstation (Ent- und Beladestation) mit 0,0063 kg/t anzusetzen. Heizöl wird nicht an Tankstellen vertrieben und auch die Vorschriften der 20. und 21. BImSchV finden keine Anwendung. Daher wird für die Emissionsberechnung die Summe beider Faktoren von 0,0116 kg/t kontinuierlich fortgeschrieben. Diese liegt in einer ähnlichen Größenordnung wie der von (Von Winkler, 2004) ermittelte Wert von 0,0127 kg/t.

5.2.4 Flugturbinenkraftstoff

Theloke schlägt im Kapitel 4.6.2 (Theloke et al., 2013) vor, einmal den Umschlag von Flugturbinenkraftstoff in ein Transportfahrzeug mit 0,055 kg/t und einmal den Umschlag von Tankfahrzeug zu Flugzeugtank mit 0,02 kg/t anzusetzen. Die Vorschriften der 20. und 21. BImSchV finden keine Anwendung, da das Emissionspotential, ähnlich wie bei Dieselkraftstoff und Heizöl, sehr gering ist. Daher wird für die Emissionsberechnung die Summe beider Faktoren von 0,075 kg/t kontinuierlich fortgeschrieben. Dies wird auch von (Von Winkler, 2004) empfohlen.

5.3 Tropfverluste bei der Betankung

Theloke empfiehlt im Kapitel 4.6.2 (Theloke et al., 2013), einen Emissionsfaktor von 0,117 kg/t für die Tropfverluste anzunehmen. Dieser Faktor stammt aus (Von Winkler, 2004) und fußt im Wesentlichen darauf, dass für einen Betankungsvorgang von etwa 65 l durchschnittlich 7 ml verschüttet werden. Umgerechnet bedeutet das 5,2 g pro 65 l. Mit der Dichte von 0,75 kg/l ergibt sich so ein Faktor von 0,1067 g/kg. Darüber hinaus nimmt (Von Winkler, 2004) an, dass

auf dem Transportweg weitere 10 % Tropfverluste beim Umfüllen von Tanks und Transportmedien entstehen. Somit wird der Faktor mal 1,1 genommen und es ergibt sich 0,117 kg/t.

Ähnlich wird beim Dieselkraftstoff verfahren. Bei der Betankung von Flugzeugen werden aus Sicherheitsgründen ausschließlich Betankungssysteme mit Trockenkupplungen eingesetzt. Hier empfiehlt Theloke den Faktor auf null zu setzen. Allerdings werden so Tropfverluste beim Umfüllen von Tanks und Transportmedien außer Acht gelassen. Um konservativ zu bleiben, nutzt das UBA daher den Faktor von 0,0009 kg/t. Beim Heizöl wird berücksichtigt, dass Heizöltanks und Lieferfahrzeuge mit Überfüllsicherungen ausgerüstet sind. (Von Winkler, 2004) empfiehlt daher ein Hundertstel von Dieselbetankungsvorgängen anzunehmen. Dem folgt auch Theloke.

Zusammengefasst ergeben sich für die Tropfverluste die in Tabelle 24 aufgeführten Faktoren.

Tabelle 24: Tropfverluste bei Betankungsvorgängen

Kraftstoff	Anwendungsgrad
Ottokraftstoff	0,117 kg/t
Dieselkraftstoff	0,1 kg/t
Heizöl	0,001 kg/t
Flugturbinenkraftstoff	0,0009 kg/t

Die Werte im Zähler beziehen sich auf Tonne aufgeführten Mineralölprodukts.

5.4 Tankschlauchemissionen

Gemäß DIN EN 1360 (DIN, 2013) ist ein Höchstwert von 0,012 l VOC je Meter und Tag an Tankschläuchen zugelassen. Im Durchschnitt haben Tankstellen 4 Zapfsäulen mit 6 Schläuchen je Zapfsäule. Die Anzahl der Tankstellen gibt der Mineralölwirtschaftsverband (Quelle: en2x "MINERALÖL ZAHLEN 2023", S. 21; <https://en2x.de/service/publikationen/>) mit 14.429 für das Jahr 2021 an.

Untersuchungen von 3M und dem TÜV Süd fanden am 28.03., 29.05. und 11.07.2018 an einer Pilottankstelle in Ratingen (nahe Kreuz Breitscheid, A3/A52) statt. Für die Messungen wurden Manschetten an den Leitungen für die Kraftstoffe Super, Super Plus und Super E10 an einer Tanksäule mit konventionellen Schläuchen Typ Conti Slimline angebracht. Im März lag die Temperatur bei durchschnittlich 5°C und die Permeationsrate lag zwischen 0,139 und 0,456 ml pro Schlauchmeter und Tag. An den anderen beiden Messtagen lag die Temperatur bei 20 beziehungsweise 21°C. Hier traten Permeationsraten zwischen 1,977 und 5,320 ml pro Schlauchmeter und Tag auf.

Aufgrund der geringen Anzahl an Messungen und der hohen Streuung der Ergebnisse werden die Werte lediglich als Bestätigung genommen, so dass der vom UBA verwendete Wert von 10 ml pro Schlauchmeter und Tag als konservativ angesehen werden kann.

Somit kann man die Anzahl der Tankstellen mit der Anzahl der Zapfsäulen und der damit verbundenen Schläuche und deren Durchschnittslänge multiplizieren. Die rund 1,4 Millionen Schlauchmeter multipliziert man mit dem Höchstwert von 0,01 l VOC. Somit erhält man den maximalen Verlust von VOC-Emissionen durch Tankschläuchen von rund 14.000 l pro Tag. Dies multipliziert man mit 365 und erhält 5,1 Millionen l VOC pro Jahr. Eine Differenzierung zwischen

den einzelnen Kraftstoffarten erfolgt aufgrund der hohen Unsicherheit der Herangehensweise nicht.

5.5 Betankung von Freizeitbooten mittels Kanister

In der Studie (Mell, 2008) wird die Anzahl der Motorboote und -yachten in Deutschland abgeschätzt. Daraus lässt sich ein Zusammenhang mit der Bevölkerungszahl erkennen. Daher wird als Aktivität die Bevölkerungszeitreihe im ZSE gewählt.

Für den Emissionsfaktor wird angenommen, dass bei der Kanisterbetankung 10x mehr Tropfen daneben gehen, als bei der Tankstellenbetankung. Da es keine Daten zur Treibstoffart der Motorboote gibt, wird Benzin angenommen, da dieser die höheren NMVOC-Emissionsfaktoren hat und es so keine Unterschätzung gibt. Bei der Kanistergröße wurden 15 l angenommen, da vor allem 10 l und 20 l Kanister in Deutschland verkauft werden (simpler Mittelwert).

Für das Jahr 2008 wird in (Mell, 2008) eine Anzahl von 190.574 motorbetriebenen Freizeitbooten angenommen. Der VdTÜV schätzt (persönliche Mitteilung), dass jedes Boot ein bis zwei Kanister mit sich führt. Laut VdTÜV und DMYV gibt es zahlreiche Wasserfahrzeugtankstellen, jedoch sind diese nicht an jedem See/Fluss. Die Betankung der Boote auf einem Fahrzeuganhänger an konventionellen Tankstellen ist aus Sicht des Explosionsschutzes untersagt. Es wird davon ausgegangen, dass die Freizeitmotorsportler, die nicht an den Wassertankstellen tanken, die Boote mittels Kanister entweder direkt am Anlieger oder zu Hause in der Garage betanken. Die Wassertankstellen unterliegen den emissionsmindernden Maßnahmen wie bei Fahrzeugtankstellen (Kapitel 5.2.1).

Da die Boote größtenteils nur in den Sommermonaten betrieben werden, wird angenommen, dass die zwei mitgeführten Kanister in den Monaten Mai bis September mindestens je einmal entleert und wieder befüllt werden. Da es keine Statistiken gibt, wie viele ausschließlich an Tankstellen tanken, wird konservativ angenommen, dass alle Besitzer eine Kanisterbetankung vornehmen. Somit kommt es zu 10 Befüllungen pro Boot im Jahr und damit zu rund 1,9 Millionen Vorgängen. Multipliziert mit dem Kanistervolumen (15 l = 11,1 kg) kommt man auf eine Betankungsmenge von 21 Millionen kg Benzin. Diese Mengen werden mit dem ungeminderten Emissionsfaktor für den Umschlag von Benzin plus dem Emissionsfaktor für Tropfverluste multipliziert.

Tabelle 25: konservative Abschätzung der VOC-Emissionen bei der Betankung von Freizeitmotorbooten mittels Kanister am Beispiel 2021

Prozessschritt	Parameter	Anmerkung
Einwohner Deutschland	83.237.124	Daten vom Statistischen Bundesamt
Anteil motorbetriebener Boote an der Gesamtbevölkerung	0,24 %	Bevölkerung 2008 geteilt durch die Anzahl der motorbetriebenen Boote nach Mell 2008
Ungeminderter Emissionsfaktor	2,4 kg/t	Sättigungskonzentration plus 10 Mal Tropfverlust (Kapitel 5.2.1 und 5.3)
Betankungsvorgänge	1,9 Millionen	Kanister je Boot mal Betankungsvorgänge pro Jahr pro Boot im Jahr bei 5 Monaten Nutzungszeit und 2 Tankvorgängen
Emissionen	56.988 kg	

Durchschnittlich kommt man so auf rund 57 Tonnen NMVOC im Jahr. In der Tabelle 26 sind diese unter Ottokraftstoff subsummiert. Dieser Wert ist mit einer sehr hohen Unsicherheit verbunden.

5.6 Auswirkungen

Deutschland berichtet die in Tabelle 26 aufgelisteten Emissionen für die Verteilung von Mineralölprodukten.

Nach (Theloke et al., 2013) Kapitel 4.6.2 entstehen bei der Verdampfung von Kraftstoffen ausschließlich NMVOC-Emissionen. Daher wurde bisher VOC gleich NMVOC gesetzt. Das sieht auch das IPCC in den Guidelines (IPCC, 2006)-(Band 2, Kapitel 4, Tabelle 4.2.4) und (IPCC, 2019)-(Band 2, Kapitel 4, Seite 60) so. Untersuchungen von (Bender, 2009) und (Köhler & Krause, 2024) zeigen aber, dass es doch durchaus zu Methanemissionen kommt. Diese Untersuchungen wurden an Lagertanks mit Ottokraftstoff durchgeführt. Es konnte nicht abschließend geklärt werden, ob diese auch bei Betankungen und auch bei anderen Kraftstoffen auftreten. Daher wird mit der bisherigen Systematik gerechnet.

Tabelle 26: Emissionen aus der Verteilung von Mineralölprodukten exemplarisch für das Jahr 2021

Für Submission 2025 und 2026

Prozessschritt	VOC-Emissionen Ottokraftstoff	VOC-Emissionen Dieselkraftstoff	VOC-Emissionen Heizöl	VOC-Emissionen Flugturbinenkraftstoff
Umschlag	910.784 kg	104.941 kg	Zusammengefasst mit Betankung	616.336 kg
Betankung	3.840.932 kg	104.941 kg	129.991 kg	110.326 kg
Tankschlauchemissionen	3.741.382 kg	Bei den VOC-Emissionen von Ottokraftstoff enthalten	0 kg	0 kg
Tropfverluste	1.922.109 kg	3.498.021 kg	12.327 kg	0 kg
Summe	10.415.207 kg	3.707.903 kg	142.318 kg	726.662 kg

6 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei denen bedanken, die mich bei der Erstellung dieses Dokumentes unterstützt haben.

Zunächst bei den Autoren der hier zitierten Studien für die wertvollen Untersuchungen. Insbesondere bei Dr. Matthias Bender und Dr. Jochen Theloke, die auch noch Jahre nach Projektabschluss für Fragen zur Verfügung standen.

Natürlich meinen Kolleginnen Karen Pannier und Jiexia Zheng, sowie meinem Kollegen Christopher Proske, für die fachliche Unterstützung und die Bereitschaft, die Änderungsvorschläge auch in der Datenbank umzusetzen.

Außerdem möchte ich meinen Kollegen Yaman Tarakji für die graphische und layout-technische Unterstützung danken.

7 Quellenverzeichnis

- 20.BImSchV. (2017). Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen oder Lagern von Ottokraftstoffen, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. August 2014(BGBI. I S. 1447), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. März 2017 (BGBI. I S. 656) geändert worden ist. Berlin: Bundesgesetzblatt Retrieved from https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_20_1998/
- 21.BImSchV. (2017). Einundzwanzigste Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. August 2014 (BGBI. I S. 1453), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. März 2017 (BGBI. I S. 656) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt Retrieved from https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_20_1998/
- Bauer, S., Polcher, A., & Greßmann, A. (2010). Evaluierung der Anforderungen der 20. BImSchV für Binnentankschiffe im Hinblick auf die Wirksamkeit der Emissionsminderung klimarelevanter Gase (FKZ 3709 45 326). Retrieved from München:
- Bender, M. (2009). Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung - Bereich Lageranlagen (Bericht Nr. M74 244/7; UBA FKZ 3707 42 103/01). Retrieved from Planegg: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3885.pdf>
- Bender, M., & Langer, D. (2009). Inventarverbesserung 2008, Verbesserung und Ergänzung der aktuellen Inventardaten, IPCC-Kategorie (1996) 1.B.2 Diffuse Emissionen aus Erdöl und Erdgas (Müller-BBM-GmbH Ed.). München: Umweltbundesamt (UBA).
- DIN. (2013). Zapfstellenschläuche und -schlauchleitungen aus Gummi und Kunststoff - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1360:2013. In DIN EN 1360:2013-09 (pp. 28). Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN).
- European Environment Agency. (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 : technical guidance to prepare national emission inventories [06/2023](pp. 30). doi:<http://doi.org/10.2800/795737>
- Günther, D., Ahrem, L., Bernicke, M., Bertram, A., Bolland, T., Böttcher, C., . . . Ziche, D. (2023). Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023 : Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2021. Retrieved from Dessau-Roßlau: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-9>
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2 Energy. In S. Eggleston, B. Leadro, M. Kyoko, N. Todd, & T. Kiyoto (Eds.). Retrieved from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
- IPCC. (2019). Fugitive Emissions. In A. Garg & M. M. Weitz (Eds.), IPCC 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2 Energie (pp. 163). Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Joas, R., Potrykus, A., Schott, R., Peters, N.-H., Geldermann, J., & Rentz, O. (2004). VOC-Minderungspotenzial beim Transport und Umschlag von Mineralölprodukten mittels Kesselwagen (FKZ 202 44 372). Retrieved from Berlin: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_12-04_komplett_neu.pdf
- Köhler, F., & Krause, U. (2024). VOC Messungen an emissionsrelevanten Bauteilen von Lagertanks für entzündbare Flüssigkeiten. Unveröffentlichtes Werk. Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Umweltbundesamt (UBA).

- Kotzulla, M., Böttcher, C., Günther, D., Mielke, C., Schiller, S., Juhrich, K., . . . Feigenspan, S. (2023). German Informative Inventory Report 2023 : (IIR 2023) [E-Book]. In P. Gniffke & K. Hausmann (Eds.), (April 2023 ed., pp. 745). Retrieved from <https://iir.umweltbundesamt.de/>
- Mell, W.-D. (2008). Strukturen im Bootsmarkt. Retrieved from Köln: https://www.bvww.org/fileadmin/user_upload/bvww/PDF Dateien/forschung/Strukturen_im_Bootsmarkt.pdf
- Müller-Heuser, G. (2000). Immissionsschutz und Arbeitsschutz bei der Reinigung von Rohöltanks (mit Berechnungsbeispielen) : Fortschreibung. Hamburg: Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle (DGMK),.
- Theloke, J., Kampffmeyer, T., Kugler, U., Friedrich, R., Schilling, S., Wolf, L., & Springwald, T. (2013). Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich IPCC (1996) 1.B.2.a. i-vi - Diffuse Emissionen aus Mineralöl und Mineralölprodukten Unveröffentlichtes Werk. Umweltbundesamt (UBA). Stuttgart.
- VDI-Richtlinie 2440 Emissionsminderung Mineralölraffinerien, 2440 C.F.R. (2000).
- VDI Richtlinie 3479 - Emissionsminderung Raffinerieferne Tanklager, 3479 C.F.R. (2010).
- von Müller, G., & Bender, M. (2020). Emissionsfaktoren zu Raffinerien für die nationale Emissionsberichterstattung. Texte. Unveröffentlichtes Werk. Umweltbundesamt (UBA). Kerpen.
- Von Winkler, M. (2004). Abschätzung von Emissionsfaktoren bei Transport und Lagerung von Mineralölprodukten Erdöl, Erdgas, Kohle, 120(10), 5.
- Weyer. (2003). Anthropogene VOC-Emissionen Schweiz 1998 und 2001 [E-Book](pp. 199). Retrieved from https://www.bing.com/search?q=Anthropogene+VOC-Emissionen+Schweiz+1998+und+2001&cvid=6b57f7ae607a4213bf5a402066c763c4&gs_lcrp=EgRIZGdIKgYIABBFGDkyBggAEEUYOdIBBzEyOWowajSoAgiwAgE&FORM=ANAB01&PC=U531
- Zimmermann, T. (2024). Ist-Analyse der VOC-Emissionen von Mineralölprodukten bei der Reinigung von Eisenbahnkesselwagen, Binnentankschiffen, Straßentankfahrzeugen, Pipelines, Lagertanks und Tankcontainern (Umweltbundesamt (UBA) Ed.). Hamburg: Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH.