

Aufbereitung von Daten der Emissions-  
erklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem  
Jahre 2004 für die Verwendung bei der  
UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung

Teilbericht Lageranlagen



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3707 42 103/ 01  
UBA-FB 001332/3

**Aufbereitung von Daten der Emissions-  
erklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem  
Jahre 2004 für die Verwendung bei der  
UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung**

**Teilbericht Lageranlagen**

von

**Dr. Matthias Bender**  
Müller-BBM GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3885](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3885) verfügbar. Hier finden Sie auch die anderen Teilberichte dieses Forschungsvorhabens.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Email: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 2.3K Chemische Industrie, Energieerzeugung  
Karen Pannier

Dessau-Roßlau, Dezember 2009

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 0 0 1 3 3 2 / 3	2.	3.
4. Titel des Berichts <b>Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung – Lageranlagen</b>		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) <b>Bender, Matthias</b>		8. Abschlussdatum <b>21.08.2009</b>
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  <b>Müller-BBM GmbH Robert-Koch-Straße 11 82152 Planegg</b>		9. Veröffentlichungsdatum Dezember 2009
		10. UFOPLAN-Nr. <b>3707 42 103/ 01</b>
		11. Seitenzahl <b>29 Seiten</b>
		12. Literaturangaben <b>10</b>
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) <b>Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau</b>		13. Tabellen und Diagramme <b>8</b>
		14. Abbildungen <b>21</b>
		15. Zusätzliche Angaben <b>Dieser Bericht entstand im Rahmen des F&amp;E-Vorhabens „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung“ (UFOPLAN FKZ 3707 42 103/ 01) und behandelt die Emissionen aus Lageranlagen für Flüssigkeiten und Gase. Die Ergebnisse zu anderen im selben Vorhaben untersuchten Quellgruppen / Industriebranchen werden in getrennten Berichten dargestellt.</b>
16. Zusammenfassung  <b>Aus der Auswertung der Emissionserklärungen für Lageranlagen lassen sich wegen des unterschiedlichen Emissionsverhaltens der einzelnen Anlagen keine für Einzelanlagen repräsentative Emissionsfaktoren ableiten. Es können jedoch aggregierte Emissionsfaktoren zur Verwendung innerhalb der CRF-Systematik gebildet werden, indem für die jeweiligen Datenkollektive die Summen aller Emissionen auf die Summen aller Kapazitäten bezogen werden. Im Ergebnis können Emissionsfaktoren von 100 g Kohlenwasserstoffe (NMVOC) und 5 g Methan je m<sup>3</sup> Lagerkapazität für flüssige und gasförmige Mineralölprodukte angegeben werden. Die Größenordnung der Abschätzung wird durch Mess- und Rechenwerte unabhängiger Verfahren bestätigt (200-300 g Kohlenwasserstoffe je m<sup>3</sup> Lagerkapazität)</b>		
17. Schlagwörter <b>Emissionserklärungen, 11. BImSchV, Emissionen, Emissionsfaktoren, Lageranlagen, Tanklager, Mineralöl, Mineralölprodukte, Kohlenwasserstoffe, NMVOC, Methan</b>		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 0 0 1 3 3 2 / 3	2.	3.
4. Report Title <b>Evaluation of data from emissions declarations according to 11. BImSchV (11th ordinance to the German Federal Immission Control Act – BImSchG) of 2004 for use with UNFCCC and UNECE reports – Storage Facilities</b>		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) <b>Bender, Matthias</b>		8. Report Date <b>2009-08-21</b>
6. Performing Organisation (Name, Address)  <b>Müller-BBM GmbH Robert-Koch-Straße 11 82152 Planegg Germany</b>		9. Publication Date December 2009
		10. UFOPLAN-Ref. No. <b>3707 42 103/ 01</b>
		11. No. of Pages <b>29 Pages</b>
		12. No. of Reference <b>10</b>
7. Funding Agency (Name, Address) <b>Umweltbundesamt (Federal Environment Agency) Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau Germany</b>		13. No. of Tables, Diagrams <b>8</b>
		14. No. of Figures <b>21</b>
		15. Supplementary Notes <b>This report is a product of the R&amp;D project “Evaluation of data from emissions declarations according to 11. BImSchV (11th ordinance to the German Federal Immission Control Act – BImSchG) of 2004 for use with UNFCCC and UNECE reports” (UFOPLAN FKZ 3707 42 103/ 01) and covers emissions from storage facilities for liquids and gases. Results on other source categories / industrial emissions covered in this R&amp;D project are presented in separate reports.</b>
16. Abstract <b>Emission characteristics of the plants covered by the emission declaration data are very differing. Therefore, universal plant-specific emission factors can not be evaluated from the available data. However, summarized emission factors for use within the CRF-system can be estimated relating the sums of declared emissions to the sums of declared storage capacities. As a result, emission factors of 100 g hydrocarbons (NMVOC) and 5 g Methane per m<sup>3</sup> storage capacity are estimated. The order of magnitude of these values is supported by the results of independent approaches like bottom up-calculations and measurements (200-300 g hydrocarbons per m<sup>3</sup> storage capacity).</b>		
17. Keywords <b>Emissions declarations, 11. BImSchV, emissions, 11<sup>th</sup> ordinance, Federal Immission Control Act, emission factors, storage facilities, tank farms, oil, oil products, hydrocarbons, NMVOC, methane</b>		
18. Price	19.	20.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Lageranlagen: CRF 1.B.2 – 4. BImSchV Nr. 9.1 und 9.2</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Auswertung der Emissionserklärungen für Lageranlagen</b>	<b>6</b>
3.1	Datenbestand	6
3.2	Anlagen mit Leistungsangaben ohne Zeitbezug (Aktivitätsrate Lagerkapazität)	10
3.3	Anlagen mit Leistungsangaben mit Zeitbezug (Aktivitätsrate Umschlagsleistung)	19
3.4	Zusammenfassung der aus den Emissionserklärung ausgewerteten Emissionsfaktoren	21
<b>4</b>	<b>Ableitung von Emissionsfaktoren für die Lagerung von Mineralölprodukten über andere Herangehensweisen</b>	<b>24</b>
4.1	Ergebnisse der Bottom-up-Analyse für ein Raffinerietanklager	24
4.2	Ergebnisse von Emissionsmessungen	25
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Quellen</b>	<b>29</b>

## 1 Aufgabenstellung

Für einige Industrieprozesse (CRF<sup>1</sup>-Sektor 2) sowie für die CRF-Kategorie 1.B.2 (diffuse Emissionen aus Öl und Erdgas) sollen Emissionen in das nationale Emissionsinventar aufgenommen werden, um den Anforderungen aus den internationalen Berichtspflichten zu genügen. Des Weiteren soll geprüft werden, ob es erforderlich ist, die Emissionen von Tierkörperbeseitigungsanlagen künftig beim Emissionsinventar zu berücksichtigen.

Im vorliegenden Projekt sollen Aktivitätsraten (AR) und Emissionsfaktoren (EF) für verschiedene Schadstoffe ermittelt werden.<sup>2</sup> Hierfür sollen die gemäß 11. BImSchV [2] für das Berichtsjahr 2004 erstatteten Emissionserklärungen zur Auswertung herangezogen werden. Der Untersuchungsumfang ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Außerdem ist in Tabelle 1 die den Emissionserklärungen zugrunde liegende Einteilung des Anhangs der 4. BImSchV [3] den CRF-Kategorien gegenübergestellt.

**Tabelle 1.** Untersuchungsumfang im Gesamtprojekt und Gegenüberstellung der CRF-Kategorien und der Einteilung nach Anhang der 4. BImSchV.

CRF-Kategorie	Parameter	Schadstoffe	Anhang der 4. BImSchV
2.A.5 Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung	EF	CO, SO <sub>2</sub> , PAH	Herstellungsprozess in Dachbahnenfabriken; Anlagen nach Nr. 5.4
2.A.6 Straßenasphaltierung	EF	CO, PAH	Herstellungsprozess in Asphaltmischanlagen; Anlagen nach Nr. 2.15, ggf. 10.4
2.A.7 Keramik	EF	CO, Pb, Hg, Cd, Dioxine, PAH, HF, N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub>	Anlagen nach Nr. 2.10
2.D.1 Zellstoff- und Papierherstellung	EF	CO, SO <sub>2</sub>	Anlagen nach Nr. 6.1, 6.2
nicht als Kategorie im CRF enthalten	EF, AR	alle relevanten Stoffe	Anlagen zur Tierkörperbeseitigung; Anlagen nach Nr. 7.12, ggf. 7.8, 7.9
1.B.2 Öl- und Erdgas <sup>1)</sup>	EF	NMVOC <sup>2)</sup> , CH <sub>4</sub>	Lageranlagen; Anlagen nach Nr. 9.1, 9.2

<sup>1)</sup> siehe auch: FKZ 360 16 012: Inventarverbesserung 2008 – IPCC (1996) 1.B.2 – Diffuse Emissionen aus Erdöl und Erdgas.

<sup>2)</sup> NMVOC: non methane volatile organic compounds; die Ausschreibungsunterlagen beinhalteten die Stoffe CO und NO<sub>x</sub>. In Absprache mit dem UBA wurden diese ersetzt durch NMVOC und Methan (CH<sub>4</sub>)

Der vorliegende Teilbericht befasst sich mit der Auswertung der Emissionserklärungen von Lageranlagen gemäß den Nrn. 9.1 und 9.2 des Anhangs der 4. BImSchV hinsichtlich ihrer Verwertbarkeit zur Ableitung von Emissionsfaktoren für die CRF-Kategorie 1.B.2 – diffuse Emissionen aus Öl und Erdgas.

<sup>1</sup> CRF: Common Reporting Format; Systematik zur Kategorisierung von Emissionen und Quellgruppen gemäß IPCC-Guidelines 1996 (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) [1].

<sup>2</sup> Emission (E) = EF × AR



## 2 Lageranlagen: CRF 1.B.2 – 4. BImSchV Nr. 9.1 und 9.2

Die nachfolgende Auflistung zeigt auszugsweise die Systematik des CRF zur Untergliederung von Emissionsquellen und –senken [1]:

- 1 Energy
  - 1.A Fuel Combustion Activities
  - ...
  - 1.B Fugitive Emissions from Fuels
    - 1.B.1 Solid Fuels
    - ...
    - 1.B.2 Oil and Natural Gas
      - 1.B.2.a Oil
        - i. Exploration
        - ii. Production
        - iii. Transport
        - iv. Refining / Storage
        - v. Distribution of Oil Products
        - vi. Other
      - 1.B.2.b Natural Gas
        - i. Exploration
        - ii. Production / Processing
        - iii. Transmission
        - iv. Distribution
        - v. Other Leakage
      - 1.B.2.c Venting and Flaring
        - i. Oil
        - ii. Gas
        - iii. Combined
  - 2 Industrial Processes
  - ...

Die der deutschen Emissionsberichterstattung zugrunde liegenden Daten sind in einer Datenbank des Umweltbundesamtes, dem Zentralen System Emissionen (ZSE), hinterlegt. Dort sind derzeit unter der Kategorie 1.B.2 – diffuse Emissionen aus Öl und Gas – die folgenden Strukturelemente angelegt:

- 1.B.2.a.v Verteilung
  - 1.B.2.a.v Tank eines Straßentankwagen
- 1.B.2.a.vi Sonstige
  - 1.B.2.a.vi Reinigung von Tank eines Binnentankschiff
  - 1.B.2.a.vi Reinigung von Tank eines Eisenbahnkesselwagen
  - 1.B.2.a.vi Reinigung von Tank eines Straßentankwagen
  - 1.B.2.a.vi Reinigung von Tank einer Raffinerie
  - 1.B.2.a.vi Reinigung von Tank eines Hafens
  - 1.B.2.a.vi Reinigung von Tank eines Zwischenlager

Dabei sind im ZSE lediglich für einige Reinigungsprozesse Emissionen angegeben, ansonsten handelt es sich um nicht mit Daten gefüllte Strukturen. Für die Kategorie 1.B.2.b – Erdgas – sind bisher keine Strukturelemente angelegt.

Um leere Strukturelemente mit Daten zu belegen, oder gegebenenfalls weitere Strukturelemente hinzuzufügen, sollen die in den Emissionserklärungen erfassten Lageranlagen untersucht werden.<sup>3</sup>

Es stellt sich zunächst die Frage, ob eine Zuordnung der auf der Anlagendefinition der 4. BImSchV beruhenden Daten der Emissionserklärungen zu den CRF-Kategorien überhaupt möglich ist, und auf welche Weise diese gegebenenfalls vorzunehmen ist. Die Anlagendefinitionen für Lageranlagen nach den Nrn. 9.1 und 9.2 des Anhangs der 4. BImSchV sind in Tabelle 2 angegeben.

**Tabelle 2.** Zuordnung genehmigungsbedürftiger Lageranlagen nach 4. BImSchV.

Nr. gemäß 4. BImSchV	CODE Nr. 4. BImSchV	Kurzbezeichnung	
9.01 Sp. 1	0901.1	Lagern brennbarer Gase in Behältern $\geq 30$ t, aber Einzelbehältnissen $> 1.000$ cm <sup>3</sup>	Gase
9.01 a) Sp. 2	0901A2	Lagern brennbarer Gase in Einzelbehältnissen $< 1.000$ cm <sup>3</sup> und Gesamtlagermenge $\geq 30$ t	
9.01 b) Sp. 2	0901B2	Lagern brennbarer Gase in Behältern 3 bis $< 30$ t	
9.02 Sp. 1	0902.1	Lagern von brennbaren Flüssigkeiten $\geq 50.000$ t	Flüssigkeiten
9.02 a) Sp. 2	0902A2	Lagern von brennbaren Flüssigkeiten (Flammpunkt $< 21$ °C) 5.000 bis $< 50.000$ t	
9.02 b) Sp. 2	0902B2	Lagern sonstiger brennbarer Flüssigkeiten 10.000 bis $< 50.000$ t	

Die Systematik der 4. BImSchV ist nicht auf Lageranlagen für Mineralölprodukte<sup>4</sup> beschränkt. Diese dürften jedoch den überwiegenden Anteil der erfassten Anlagen ausmachen. Dies gilt auch für die Anlagen nach Nr. 9.1 zur Lagerung von Gasen. Erdgas-Untergrundspeicher sind aufgrund des ausdrücklichen Bezuges auf die Lagerung in Behältern nicht enthalten. Die nähere Analyse des Datenbestandes zeigt, dass es sich im Wesentlichen um die Lagerung von Flüssiggasen handelt, die ebenfalls als Mineralölprodukte zu betrachten sind (vgl. Kapitel 3.1).

Bei der Lagerung brennbarer Gase und Flüssigkeiten treten hinsichtlich der zu betrachtenden Stoffe Methan und NMVOC ausschließlich diffuse Emissionen im Sinne der CRF-Systematik auf. Verbrennungsprozesse zum Zwecke der Energiegewinnung und Abgase aus Industrieprozessen sind nicht zu betrachten.

<sup>3</sup> Vgl. hierzu auch FKZ 360 16 012: Inventarverbesserung 2008 – IPCC (1996) 1.B.2 – Diffuse Emissionen aus Erdöl und Erdgas; Müller-BBM-Bericht Nr. M76 595/4 vom 21.04.2009.

<sup>4</sup> Der Begriff „Mineralölprodukte“ soll hier und im Folgenden umfassend für Mineralöle und Mineralölprodukte verstanden werden und schließt insbesondere Rohöle mit ein.

Die Eingliederung der Daten der Emissionserklärungen in die CRF-Systematik ist also möglich. Eine geeignete Möglichkeit zur Belegung der Kategorie 1.B.2.a.iv – diffuse Emissionen aus Öl, Raffinieren und Lagerung – in Strukturelemente wäre die folgende:

1.B.2.a.iv Raffinieren und Lagerung

- Raffinieren
- Lagerung – flüssige Mineralölprodukte
- Lagerung – gasförmige Mineralölprodukte

Für die beiden zuletzt genannten Strukturelemente könnten mit Hilfe der Emissionserklärungen Daten gewonnen werden. Die Unterteilung in Flüssigkeiten und Gase bietet sich hier an, da durch die Systematik der 4. BImSchV die Daten in der entsprechenden Differenzierung vorliegen. Gegebenenfalls kann aber auch zugunsten der Vereinfachung auf die Unterscheidung verzichtet werden.

Es stellt sich als nächstes die Frage nach der Vollständigkeit und Repräsentativität des erfassten Datenbestandes: hier ist insbesondere die Abgrenzung zu Raffinerietanklagern zu beachten. Grundsätzlich sollten diese unter den Emissionserklärungen der Raffinerien selbst erfasst sein. In erster Näherung bildet der vorliegende Datensatz also den Bestand derjenigen Tanklager ab, die nicht Bestandteil von Raffinerien sind. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass aufgrund der jeweils individuellen Genehmigungssituation des Standortes auch Raffinerietanklager im Datensatz der Anlagen nach 4. BImSchV Nrn. 9.1 und 9.2 enthalten sind.

Jedenfalls ist es möglich, auf Anlagenebene individuelle Emissionsfaktoren für die Lagerung von Mineralölprodukten aus den angegebenen Emissionen und Aktivitätsraten zu bilden und das resultierende Datenkollektiv hinsichtlich der Verwertbarkeit der Emissionsfaktoren für die CRF-Berichterstattung zu untersuchen.

Im Folgenden wird die Analyse und Auswertung des Datenbestandes ausführlich beschrieben. Weiterführende Überlegungen zur Untergliederung der CRF-Kategorie in Strukturelemente finden sich in Kapitel 6.

### 3 Auswertung der Emissionserklärungen für Lageranlagen

#### 3.1 Datenbestand

Der Datenbestand [4], [5] liefert über eine Abfrage der Emissionen organischer Stoffe von Anlagen nach Nr. 9.1 und Nr. 9.2 des Anhangs der 4. BImSchV [1] eine Tabelle mit 2098 Datensätzen [5]. Diese wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. 273 Datensätze wurden verworfen. Ausschlussgründe waren

- eine im Verhältnis zur Emissionsfracht unplausibel niedrige Kapazitätsangabe (1 t Lagerkapazität bei Emissionsfrachten von 2 bzw. 500 kt/a; drei Datensätze),
- eine unplausibel hohe Kapazitätsangabe (eine Anlage mit der Angabe einer Umschlagsleistung von 287 Mrd t/a; zehn Datensätze),
- die Angabe „Koks“ als Bezug für die Leistungsangabe (sechs Datensätze),
- die Angabe „Produktionsleistung“ als Bezug für die Leistungsangabe (34 Datensätze),
- die Leistungsangabe (Kapazität) Null (143 Datensätze) sowie
- die Angabe einer Jahresfracht von Null (77 Datensätze).<sup>5</sup>

Sieben weitere Datensätze wurden von der Auswertung ausgeschlossen, da die Zuordnung zur CRF-Kategorie 1.B.2.a.iv – diffuse Emissionen aus Öl, Raffinieren und Lagerung – nicht gegeben ist:

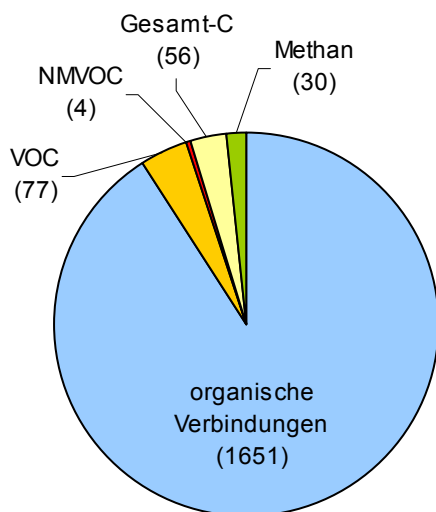
- bei 6 Datensätzen sind die Emissionen auf Verladetätigkeiten (CRF 1.B.2.a.v – Verteilung von Mineralölprodukten) zurückzuführen oder sie entstammen Anlagen zur Dämpferückgewinnung (nicht eindeutig zuzuordnen, ggf. 1.B.2.a.vi – Sonstige).
- Bei einem Datensatz ist die Anlagenteilbezeichnung „Klärgaslager“ angegeben. Dieser Datensatz ist ebenfalls nicht eindeutig innerhalb der CRF-Systematik zuzuordnen.

Es verbleiben 1818 Datensätze, die sich wie in Abbildung 1 dargestellt auf die Stoffbezeichnungen „Methan“ (Stoffgruppe Nr. 1), „organische Verbindungen“ (Nr. 9000), „Gesamt-C“ (Nr. 96161), „non methane volatile compounds, NMVOC“ (Nr. 96162) und „volatile organic compounds, VOC“ (Nr. 96163) verteilen.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Die Datensätze mit der Angabe Jahresfracht Null verteilen sich auf 16 Anlagen, von denen 14 Emissionen in weiteren Datensätzen erklären. Nur zwei Anlagen sind ausschließlich mit Datensätzen ohne Angabe einer Jahresfracht vertreten. Aufgrund der weiteren Angaben für diese beiden Anlagen kann ausgeschlossen werden, dass es sich um tatsächlich emissionsfreie Anlagen handelt.

<sup>6</sup> Die Nummern entsprechen der Codierung wie sie bei der Datenerfassung für die Emissionserklärungen verwendet werden.



**Abbildung 1.** Verteilung der Datensätze auf die Stoffbezeichnungen.

Für die Berichterstattung werden die Komponenten NMVOC und Methan benötigt. Die Verteilung der Datensätze zeigt, dass bei einer Einschränkung auf diese beiden Stoffbezeichnungen nur wenige Informationen zu erhalten sind.

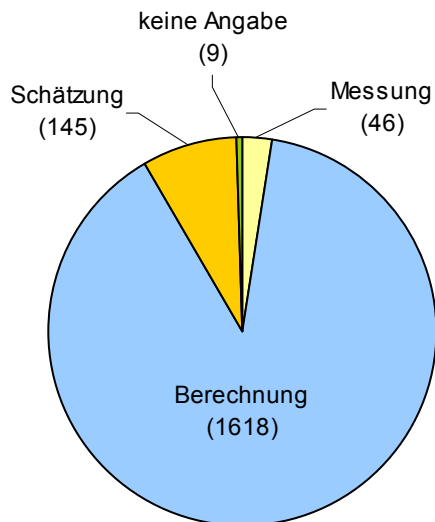
Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei der Erstellung der Emissionserklärungen die verschiedenen Stoffbezeichnungen – mit Ausnahme des Einzelstoffs Methan – mehr oder weniger willkürlich verwendet werden. Somit lassen sich Aussagen über die organischen Gesamtemissionen treffen, indem über die Datensätze, die zur selben Anlage gehören, aufsummiert, und nicht weiter zwischen organischen Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C<sup>7</sup>, unterschieden wird.

Die Summe der Emissionen organischer Stoffe ist dann als VOC oder NMVOC zu interpretieren, je nachdem ob Methan, sofern dies bei der jeweiligen Anlage gesondert ausgewiesen wurde, bei der Summenbildung mit eingeschlossen wurde oder nicht. Um die Begrifflichkeiten zwischen ausgewerteten Daten und Rohdaten jedoch voneinander abzugrenzen, wird im Folgenden die Bezeichnung *Summe organischer Emissionen* (mit bzw. ohne Methan) verwendet. Darüber hinaus werden gesondert die Datensätze für Methan ausgewertet.

Doppelzählungen sind bei der individuellen Betrachtung der so erhaltenen Datenkollektive nicht erkennbar und nur in wenigen Einzelfälle nicht völlig auszuschließen.

<sup>7</sup> Die aus der Messtechnik stammende Bezeichnung *Gesamt-C* berücksichtigt bei genauer Interpretation nur den Kohlenstoffanteil der Stoffe. Zur Umrechnung in die eigentlichen Konzentrationen und Massenströme muss das Verhältnis Gesamtmasse/Kohlenstoffmasse angewendet werden. Bei den hier betrachteten Lageranlagen sind fast ausschließlich Mineralölprodukte zu betrachten. Der Umrechnungsfaktor ist im Wesentlichen durch das Verhältnis  $\text{CH}_2/\text{C}$ , also  $14/12 \approx 1,2$  gegeben. Allerdings ist nicht sichergestellt, dass bei der Erstellung der Emissionserklärungen in jedem Fall die Abgrenzung in diesem Sinne vorgenommen wurde. Angesichts der ohnehin gegebenen Streubreite der ausgewerteten Emissionsfaktoren ist die Unterscheidung vernachlässigbar. Bei der hier vorgenommenen Auswertung wird daher kein Umrechnungsfaktor verwendet.

Nur ein geringer Teil der Daten wurde durch Messung erhalten. Hauptsächlich werden Berechnung oder Schätzung als Art der Ermittlung angegeben (Abbildung 2). Die Emissionserklärungen enthalten dabei keine Angaben zu den für die Ermittlungsarten anzusetzenden Unsicherheiten.



**Abbildung 2.** Verteilung der Datensätze auf die Ermittlungsarten.

Die insgesamt 1818 Datensätze sind 150 Anlagen oder Teilanlagen<sup>8</sup> zuzuordnen. Davon sind 138 (Teil-)Anlagen der Nr. 9.2 und 12 (Teil-)Anlagen der Nr. 9.1 des Anhangs der 4. BImSchV zugeordnet. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht, wie sich die auf diese Weise aggregierten Datensätze auf die Kategorien der 4. BImSchV und die Bundesländer verteilen.

**Tabelle 3.** Anlagen nach Nr. 9.1 und 9.2 des Anhangs der 4. BImSchV für die Emissionen organischer Stoffe erklärt wurden.

Bundesland	Nr. 9.1 (Gase)				Nr. 9.2 (Flüssigkeiten)				Nr. 9.1+9.2
	Sp.1	Sp.2a)	Sp.2b)	insges.	Sp.1	Sp.2a)	Sp.2b)	insges.	
Summen	8	1	3	12	81	25	32	138	150

Bei allen 12 Anlagen nach Nr. 9.1 und 129 von 138 Anlagen nach Nr. 9.2 des Anhangs der 4. BImSchV werden Lagerkapazitäten ohne Zeitbezug (in den Einheiten kg, t oder m<sup>3</sup>) als Leistungsdaten angegeben. Bei neun Anlagen nach Nr. 9.2 werden Umschlagsleistungen (in t/a oder m<sup>3</sup>/a) angegeben. Beide Größen sind zur Definition der Aktivitätsrate (AR) geeignet. D. h. es können aus den summierten Emissionen einer Anlage bezogen auf die Leistung der gesamten Anlage Emissionsfaktoren (EF) gebildet werden.

Wird die Aktivitätsrate als Lagerkapazität angegeben, ergeben sich Emissionsfaktoren in den Einheiten g/(t×a) oder g/(m<sup>3</sup>×a). Die Aktivitätsrate ist in diesem Fall ohne Zeitbezug und es ergibt sich durch die Multiplikation EF×AR=E die Emission (E) pro Jahr.

Ist die Aktivitätsrate als Umschlagsleistung angegeben, kürzt sich der Zeitbezug bei der Bildung des Emissionsfaktors heraus und dieser erhält die Einheit g/t oder g/m<sup>3</sup>. Der Zeitbezug ist in diesem Fall in der Aktivitätsrate enthalten.

Bei den hier betrachteten Lageranlagen nach 4. BImSchV Nr. 9.2 für Flüssigkeiten sind fast ausschließlich Mineralölprodukte, d. h. im Wesentlichen Rohöle, Kraftstoffe oder ähnliche Produkte zu betrachten. Die Flüssigdichten dieser Stoffe liegen im Bereich 0,75-0,9 t/m<sup>3</sup>. In erster Näherung können daher massenbezogene und volumenbezogene Emissionsfaktoren ohne verkomplizierende Umrechnung gleich behandelt werden. D. h., es kann näherungsweise die Flüssigdicke  $\rho_{fl} \approx 1 \text{ t/m}^3$  gesetzt werden.

Entsprechendes gilt auch für die Anlagen nach 4. BImSchV Nr. 9.1, da in den Fällen, in denen die Lagerkapazitäten als Volumina angegeben werden, davon ausgegangen werden kann, dass die Lagerung in druckverflüssigter Form erfolgt. Allerdings ist der Fehler hier größer, da die Dichte druckverflüssigter Gase 0,5-0,6 t/m<sup>3</sup> beträgt. Vor dem Hintergrund des Größenordnungen umfassenden Wertebereichs der ausgewerteten Emissionsfaktoren wurde dennoch zugunsten einer nach Möglichkeit einfachen Vorgehensweise auf Korrekturen verzichtet.

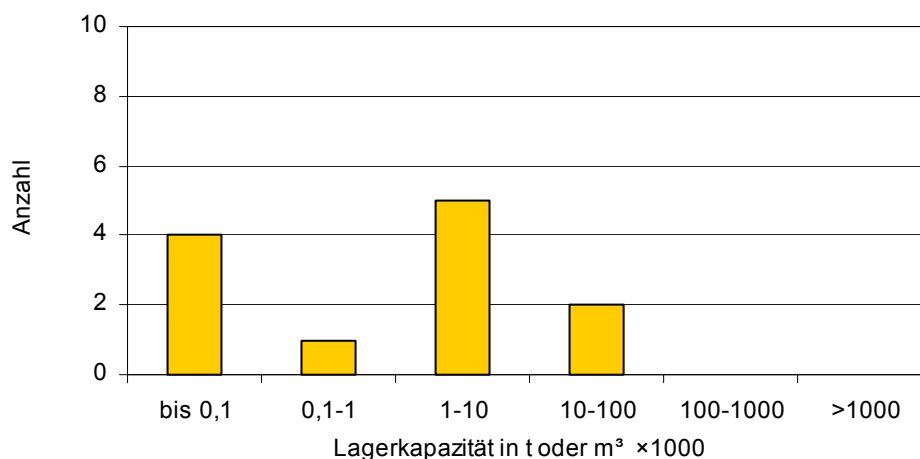
<sup>8</sup> Als einer Anlage oder Teilanlage zugeordnet, werden in dieser Sichtweise Datenkollektive verstanden, für die die gleiche Arbeitsstättennummer und die gleiche Leistung (Kapazität) angegeben wurden. Jeder einzelne Datensatz einer (Teil-)Anlage entspricht einer Emissionsquelle und/oder einem emissionsverursachenden Vorgang.

Im Folgenden werden die auf die beschriebene Weise ausgewerteten anlagenbezogenen Emissionsfaktoren graphisch dargestellt und erläutert. Es werden zunächst die Anlagen mit der als Lagerkapazität angegebenen Aktivitätsrate diskutiert. Dabei werden die nach Anlagen der Nrn. 9.1 und 9.2 getrennt ausgewerteten Datenkollektive in Kapitel 3.2.1 bzw. 3.2.2 sowie die gemeinsam ausgewerteten Daten in Kapitel 3.2.3 vorgestellt. In Kapitel 3.3 sind die Daten für die Anlagen mit der als Umschlagsleistung angegebenen Aktivitätsrate dargestellt. Da hier nur Anlagen nach Nr. 9.2 im Datenbestand enthalten sind, entfällt die entsprechende Teilung in Unterkapitel.

### 3.2 Anlagen mit Leistungsangaben ohne Zeitbezug (Aktivitätsrate Lagerkapazität)

#### 3.2.1 Anlagen nach Nr. 9.1 des Anhangs der 4. BImSchV (Gase)

Mit nur 12 Anlagen liegt ein kleines Datenkollektiv vor. Die Anlagen sind unterschiedlich groß. Für die Angabe der Lagerkapazitäten werden die Maßeinheiten t oder m<sup>3</sup> verwendet. Die Angaben reichen von 6 t bis 22.000 m<sup>3</sup> (Abbildung 3).

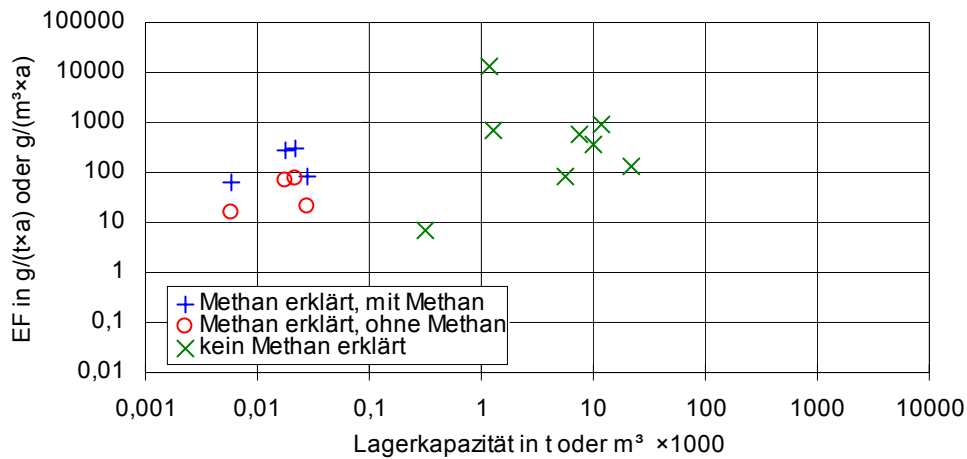


**Abbildung 3.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 (Gase): Klassierung der Anlagen nach Kapazität.

In Abbildung 4 sind die Emissionsfaktoren gegen die Lagerkapazität graphisch aufgetragen. Die Abbildung unterscheidet Anlagen, die keine Methanemissionen erklären und solche, bei denen Methanemissionen ausgewiesen sind. Bei den zuletzt genannten Anlagen wird in der graphischen Darstellung zwischen den Gesamtemissionen mit und ohne Methan unterschieden.

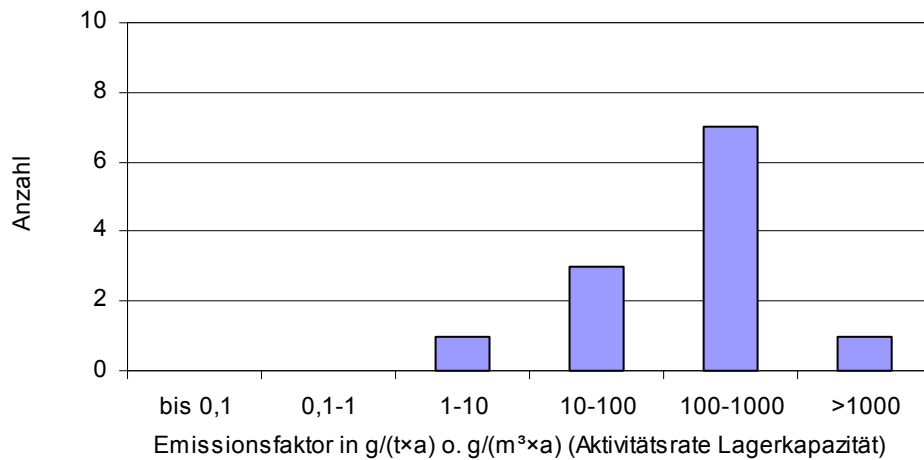
Die Form der Darstellung in Abbildung 4 wurde gewählt, um eine Übersicht über das gesamte Datenkollektiv und die Verteilung auf die Wertebereiche sowohl der Emissionsfaktoren als auch der zugehörigen Aktivitätsraten zu geben. Sie soll darüber hinaus aber auch eine mögliche Abhängigkeit der Abhängigkeit der Emissionsfaktoren von der Anlagengröße erkennen lassen. Eine solche Abhängigkeit ist aus der graphischen Darstellung nicht erkennbar.





**Abbildung 4.** Emissionsfaktoren (EF) für Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 (Gase). Es sind die Emissionsfaktoren für die Gesamtemissionen dargestellt, wobei nicht zwischen den Stoffbezeichnungen organische Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C unterschieden wird (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3.1). Bei den Anlagen, deren Emissionserklärungen gesonderte Angaben zu Methan enthalten ("Methan erklärt"), werden die Gesamtemissionen mit und ohne Methan unterschieden.

Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Emissionsfaktoren auf die Wertebereiche.

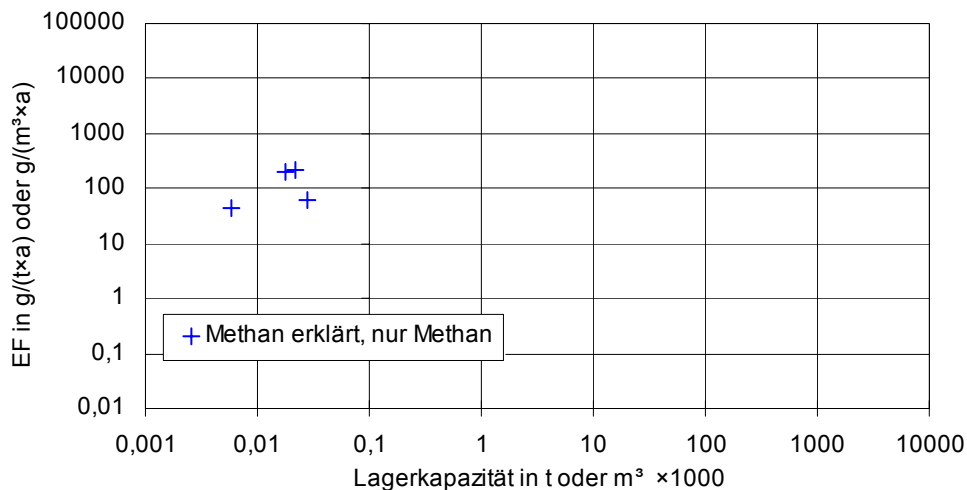


**Abbildung 5.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 (Gase): Klassierung der Emissionsfaktoren. Es sind die Emissionsfaktoren für die Gesamtemissionen einschließlich Methan dargestellt, wobei nicht zwischen den Stoffbezeichnungen organische Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C unterschieden wird (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3.1).

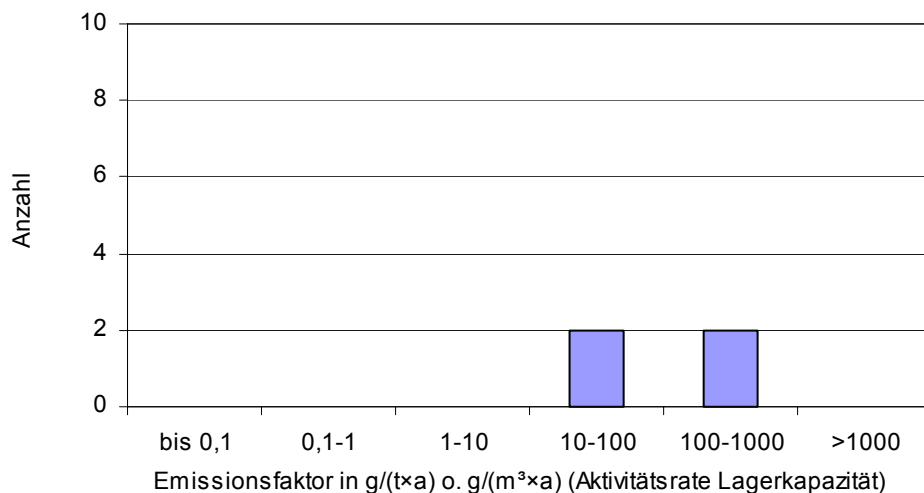
Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass die ausgewerteten Emissionsfaktoren trotz des kleinen Datenkollektivs einen Wertebereich von mehreren Größenordnungen umfassen. Immerhin deutet sich ein Korridor von 100-1000  $\text{g}/(\text{t}\cdot\text{a})$  bzw.  $\text{g}/(\text{m}^3\cdot\text{a})$  für die Summe der Emissionen organischer Stoffe einschließlich Methan an. Bei den Anlagen, die Methanemissionen erklären, ist dies die beherrschende Komponente.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die entsprechenden Auswertungen für Methan, sofern Methanemissionen erklärt wurden. Das Datenkollektiv ist hier mit fünf Anlagen noch kleiner. Dennoch reicht die Bandbreite der Emissionsfaktoren von ca. 50 bis 3000 g/(t×a) bzw. g/(m<sup>3</sup>×a). Es wird noch einmal deutlich, dass bei den Anlagen, die Methanemissionen erklären, dieses die hauptsächliche Emissionskomponente darstellt.

Eine Abhängigkeit der Emissionsfaktoren von der Anlagengröße ist auch hier nicht erkennbar.



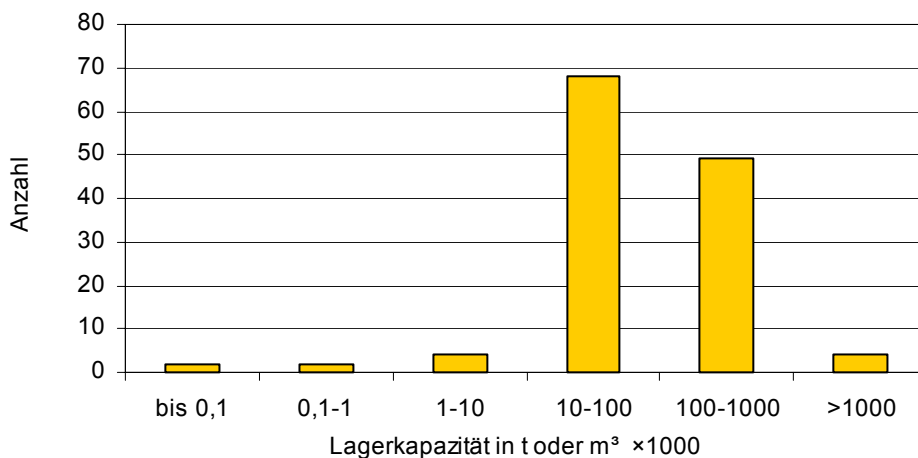
**Abbildung 6.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 (Gase): Emissionsfaktoren (EF) für Methan (sofern Methanemissionen erklärt wurden).



**Abbildung 7.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 (Gase): Klassierung der Emissionsfaktoren für Methan (sofern Methanemissionen erklärt wurden).

### 3.2.2 Anlagen nach Nr. 9.2 des Anhangs der 4. BImSchV (Flüssigkeiten)

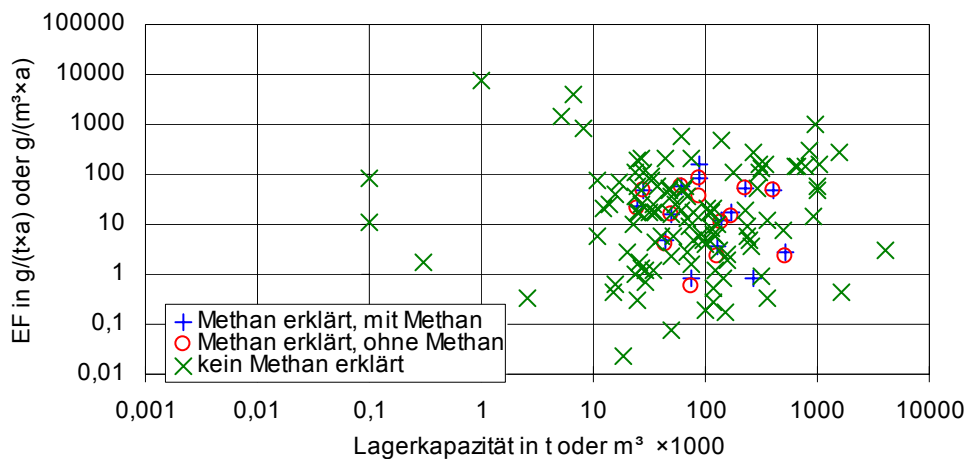
Hier liegen Daten für 129 Anlagen vor. In Abbildung 8 ist die Verteilung auf die Anlagengrößen dargestellt. Die Kapazitäten der meisten Anlagen liegen zwischen 10.000 t bzw. m<sup>3</sup> und 1 Million t bzw. m<sup>3</sup>. Es gibt wenige sehr kleine oder sehr große Anlagen.



**Abbildung 8.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität: Klassierung der Anlagen nach Kapazität.

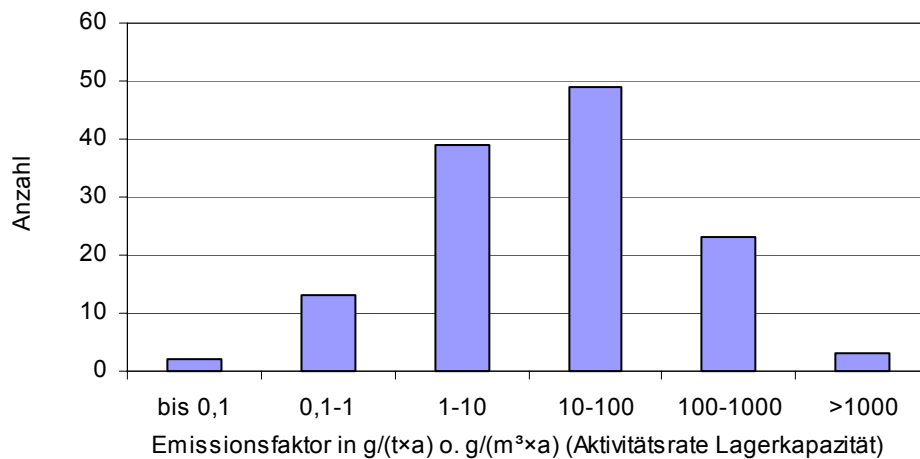
In Abbildung 9 sind in gleicher Weise wie in Abbildung 4 die Emissionsfaktoren gegen die Lagerkapazität aufgetragen. Die Abbildung unterscheidet wieder Anlagen, die keine Methanemissionen erklären und solche, bei denen Methanemissionen ausgewiesen sind. Bei den zuletzt genannten Anlagen wird zwischen den Gesamtemissionen mit und ohne Methan unterschieden. Auch hier gibt es eine Anlage, die nur Methanemissionen erklärt.

Eine Abhängigkeit der Emissionsfaktoren von der Anlagengröße ist nicht erkennbar.



**Abbildung 9.** Emissionsfaktoren (EF) für Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität. Es sind die Emissionsfaktoren für die Gesamtemissionen dargestellt, wobei nicht zwischen den Stoffbezeichnungen organische Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C unterschieden wird (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3.1). Bei den Anlagen, deren Emissionserklärungen gesonderte Angaben zu Methan enthalten ("Methan erklärt"), werden die Gesamtemissionen mit und ohne Methan unterschieden.

Abbildung 10 zeigt wie Abbildung 5 die Verteilung der Emissionsfaktoren auf die Wertebereiche.



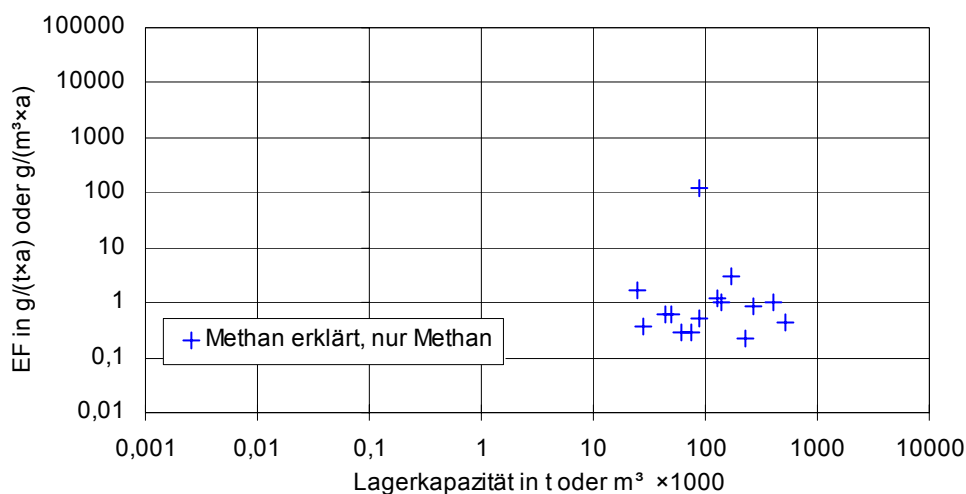
**Abbildung 10.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität: Klassierung der Emissionsfaktoren. Es sind die Emissionsfaktoren für die Gesamtemissionen einschließlich Methan dargestellt, wobei nicht zwischen den Stoffbezeichnungen organische Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C unterschieden wird (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3.1).

Auch bei den Lageranlagen für flüssige Stoffe erstreckt sich der Wertebereich der Emissionsfaktoren über mehrere Zehnerpotenzen. Die größte Anzahl der Emissionsfaktoren liegt im Bereich 10-100 g/(t\*a) bzw. g/(m³\*a). Eine ähnliche Menge von Werten verteilt sich jedoch auch auf die darunter und darüber liegenden Größenordnungen.

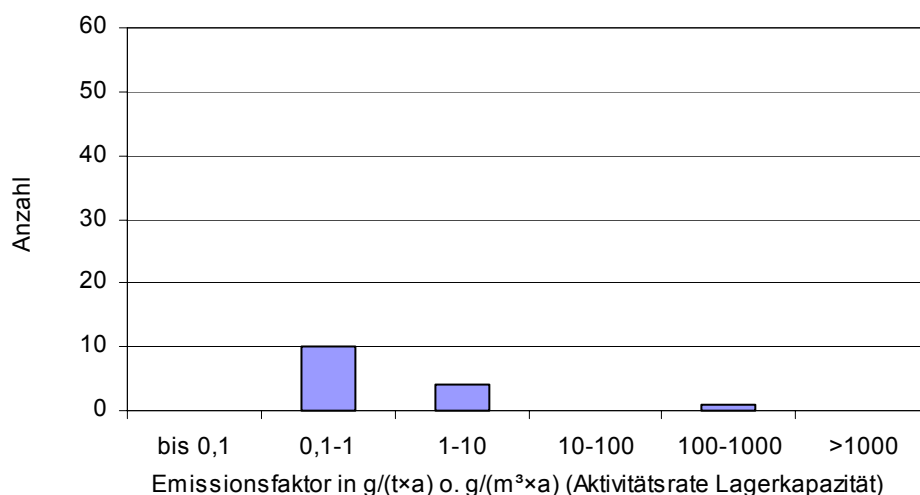
Bis auf zwei Ausnahmen sind die Methanemissionen den Gesamtemissionen organischer Stoffe deutlich nachgeordnet.

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die entsprechenden Auswertungen für Methan, sofern Methanemissionen erklärt wurden. Das Datenkollektiv umfasst 15 Anlagen. Es ergibt sich hier ein einheitlicheres Bild als bei den Gesamtemissionen organischer Stoffe. Die Emissionsfaktoren liegen bis auf eine Ausnahme alle im Bereich 0,1-10 g/(t×a) bzw. g/(m<sup>3</sup>×a). Die Methanemissionen sind gegenüber den Gesamtemissionen von nachgeordneter Bedeutung.

Eine Abhängigkeit der Emissionsfaktoren von der Anlagengröße ist nicht erkennbar.



**Abbildung 11.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität: Emissionsfaktoren für Methan (sofern Methanemissionen erklärt wurden).

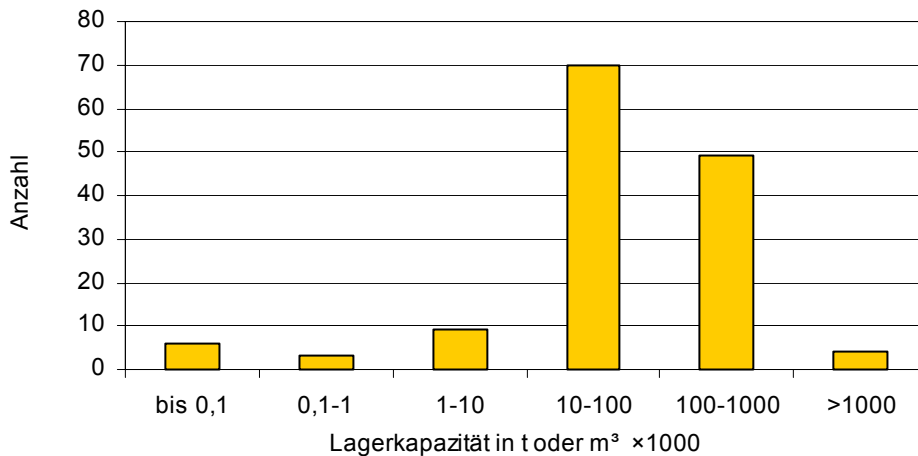


**Abbildung 12.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität: Klassierung der Emissionsfaktoren für Methan (sofern Methanemissionen erklärt wurden).

### 3.2.3 Gemeinsame Auswertung der Anlagen nach Nr. 9.1 und 9.2 des Anhangs der 4. BImSchV

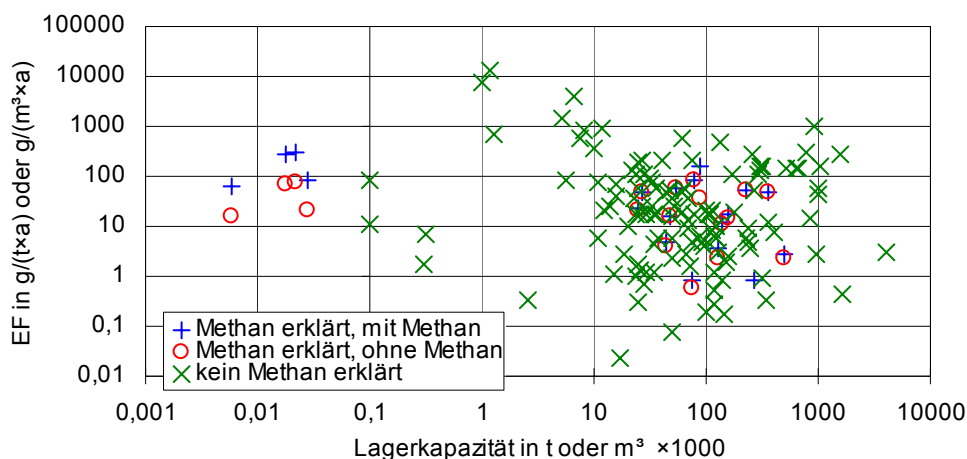
In den Abbildungen 13 bis 17 sind die in den Abbildungen 3 bis 7 und 8 bis 12 dargestellten Datenkollektive jeweils zusammengefasst.

Abbildung 13 zeigt die Klassierung des gesamten, nun 141 Anlagen umfassenden Datenkollektivs, nach der Anlagengröße.



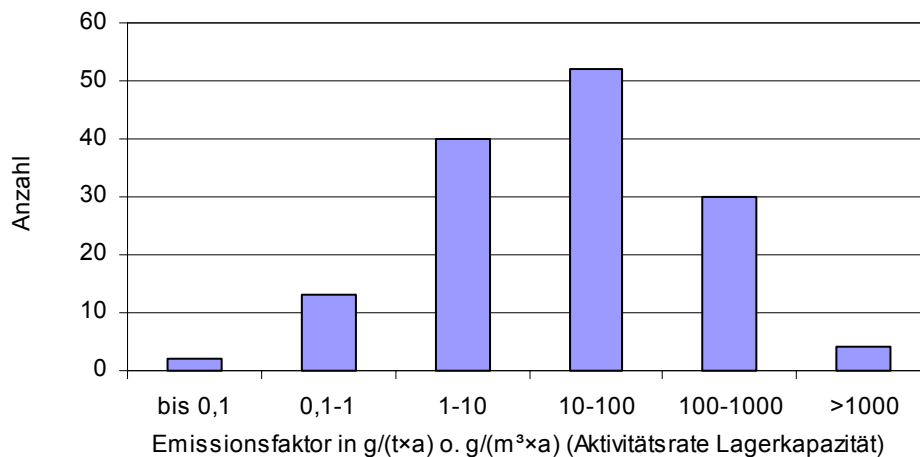
**Abbildung 13.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 und 9.2 mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität: Klassierung der Anlagen nach Kapazität.

In Abbildung 14 sind die anlagenbezogenen Emissionsfaktoren gegen die Lagerkapazität aufgetragen. Es zeigt sich, dass die Anlagen nach 4. BImSchV Nr. 9.1, deren Emissionserklärungen Angaben zu Methan enthalten, sich hinsichtlich ihrer Anlagengröße vom übrigen Datenkollektiv absetzen. Die Emissionsfaktoren liegen dagegen im selben Bereich wie die der überwiegenden Anzahl der Anlagen nach Nr. 9.2.



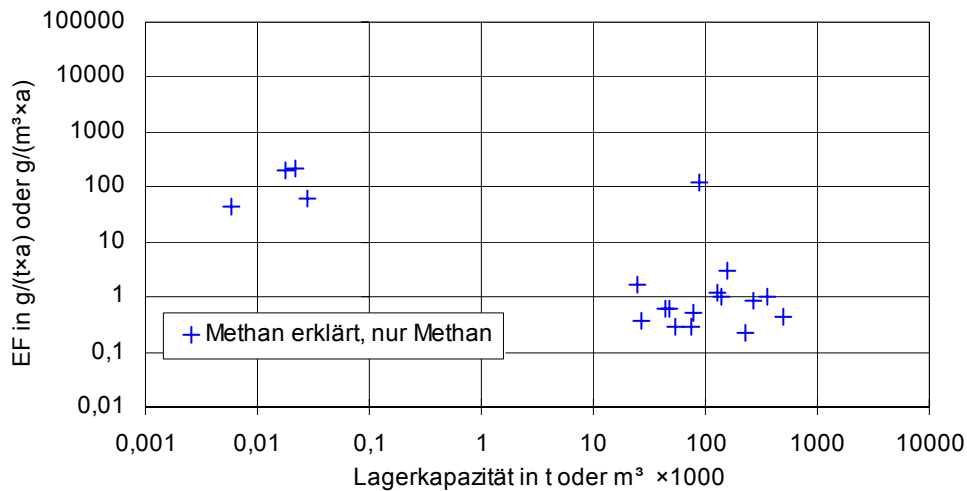
**Abbildung 14.** Emissionsfaktoren (EF) für Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 und 9.2 mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität. Es sind die Emissionsfaktoren für die Gesamtemissionen dargestellt, wobei nicht zwischen den Stoffbezeichnungen organische Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C unterschieden wird (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3.1). Bei den Anlagen, deren Emissionserklärungen gesonderte Angaben zu Methan enthalten ("Methan erklärt"), werden die Gesamtemissionen mit und ohne Methan unterschieden.

Die Klassierung der Emissionsfaktoren (Abbildung 15) ist gegenüber der Klassierung der Anlagen nach Nr. 9.2 (Abbildung 10) nur geringfügig verändert.

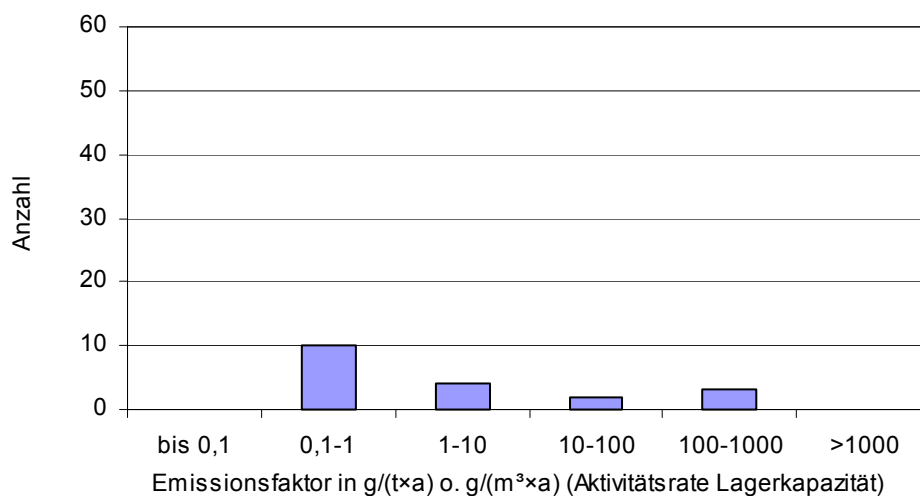


**Abbildung 15.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 und 9.2 mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität: Klassierung der Emissionsfaktoren. Es sind die Emissionsfaktoren für die Gesamtemissionen einschließlich Methan dargestellt, wobei nicht zwischen den Stoffbezeichnungen organische Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C unterschieden wird (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3.1).

Die Abbildungen 16 und 17 zeigen wieder die entsprechenden Auswertungen für Methan. Hier sind die Anlagen der Nrn. 9.1 und 9.2 deutlich voneinander abgesetzt; sowohl was die Anlagengröße als auch was die Höhe der Emissionsfaktoren betrifft.



**Abbildung 16.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 und 9.2 mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität: Emissionsfaktoren für Methan (sofern Methanemissionen erklärt wurden).



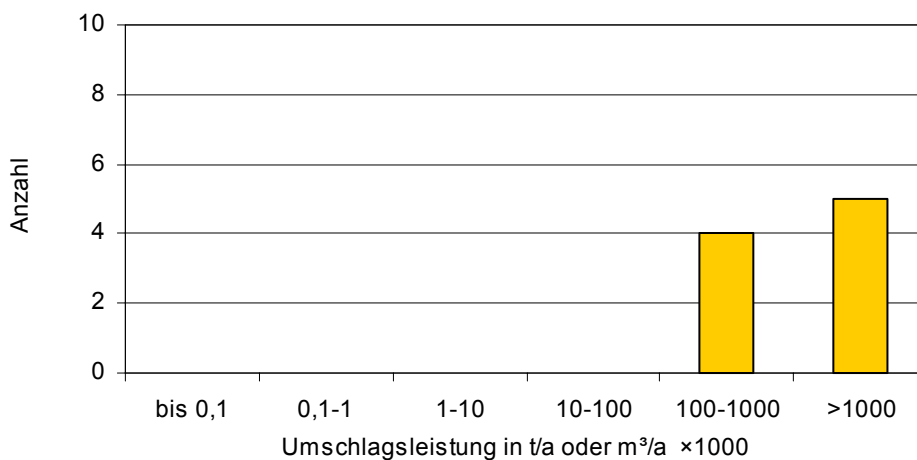
**Abbildung 17.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.1 und 9.2 mit Angabe der Aktivitätsrate als Lagerkapazität: Klassierung der Emissionsfaktoren für Methan (sofern Methanemissionen erklärt wurden).



### 3.3 Anlagen mit Leistungsangaben mit Zeitbezug (Aktivitätsrate Umschlagsleistung)

Da hier nur Anlagen nach Nr. 9.2 im Datenbestand enthalten sind, entfällt die entsprechende Teilung in Unterkapitel.

Das Datenkollektiv umfasst hier nur neun Anlagen. Kleine Anlagen sind nicht enthalten. Für die größte Anlage wird eine Umschlagsleistung von 10 Millionen t/a angegeben. Die Anlagen verteilen sich im Übrigen in gleicher Weise auf die Anlagengrößen wie die Anlagen mit Leistungsangaben ohne Zeitbezug, sofern man – was plausibel erscheint – davon ausgeht, dass die jährliche Umschlagsleistung etwa dem zehnfachen der installierten Lagerkapazität entspricht (Abbildung 18).

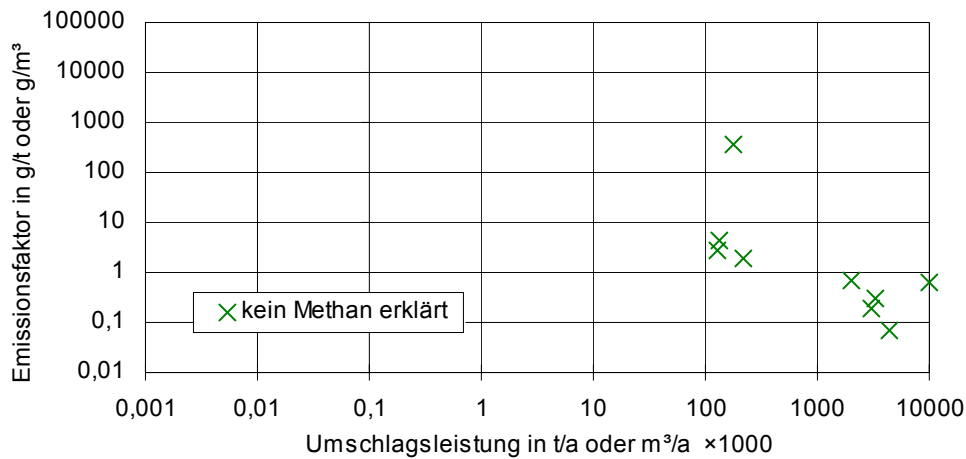


**Abbildung 18.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) mit Angabe der Aktivitätsrate als Umschlagsleistung: Klassierung der Anlagen nach Kapazität.

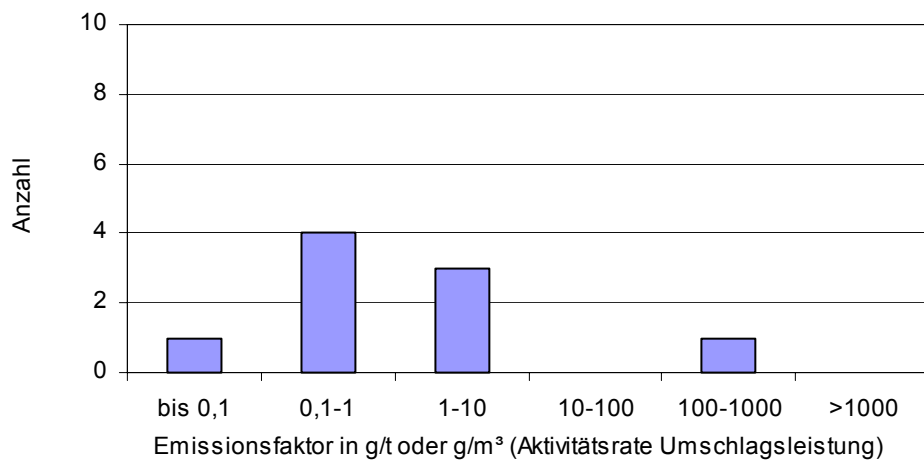
Die Abbildungen 19 und 20 zeigen wieder die Emissionsfaktoren aufgetragen gegen die Anlagenkapazität bzw. die Klassierung der Emissionsfaktoren. Da bei keiner Anlage dieses Datenkollektivs Methanemissionen erklärt wurden, entfällt hier die entsprechende Differenzierung.

Es handelt sich um ein kleines Datenkollektiv und auch hier umfasst die Bandbreite der Emissionsfaktoren mehrere Größenordnungen. Dennoch bestätigt sich die Verteilung auf die Wertebereiche, wie sie bei den Anlagen mit Leistungsangabe ohne Zeitbezug gefunden wurde, sofern man davon ausgehen kann, dass die jährlichen Umschlagsleistungen etwa dem zehnfachen der installierten Lagerkapazitäten entsprechen.

In Abbildung 19 deutet sich eine Abhängigkeit des (individuellen) Emissionsfaktors einer Anlage von der Aktivitätsrate an. Möglicherweise bilden sich hier die physikalischen Ursachen ab: Die Kohlenwasserstoffemissionen von Tanklägern setzen sich aus Stand- und Arbeitsverlusten zusammen. Es gibt also Emissionen, die eher von der Tankgröße (Lagerkapazität) und solche, die eher von den Tankbewegungen (Umschlagsleistung) abhängen. Angesichts des kleinen und damit nicht allzu belastbaren Datenkollektivs und der sich nur vage andeutenden Korrelation der Daten wäre die weitere Diskussion jedoch als spekulativ zu werten.



**Abbildung 19.** Emissionsfaktoren für Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) mit Angabe der Aktivitätsrate als Umschlagsleistung. Es sind die Emissionsfaktoren für die Gesamtemissionen dargestellt, wobei nicht zwischen den Stoffbezeichnungen organische Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C unterschieden wird (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3.1). Für keine der Anlagen wurden Methanemissionen erklärt, daher entfällt die diesbezügliche Differenzierung.



**Abbildung 20.** Anlagen nach Anhang 4. BImSchV Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) mit Angabe der Aktivitätsrate als Umschlagsleistung: Klassierung der Emissionsfaktoren: Es sind die Emissionsfaktoren für die Gesamtemissionen einschließlich Methan dargestellt, wobei nicht zwischen den Stoffbezeichnungen organische Verbindungen, VOC, NMVOC und Gesamt-C unterschieden wird (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3.1).

### 3.4 Zusammenfassung der aus den Emissionserklärung ausgewerteten Emissionsfaktoren

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Auswertung der Emissionserklärungen zusammengefasst. Für Anlagen nach Nr. 9.1 (Gase) und Nr. 9.2 (Flüssigkeiten) des Anhangs der 4. BImSchV sowie für die gemeinsame Auswertung der Nrn. 9.1 und 9.2 sind Umfang der Datenkollektive, Mittelwerte, Standardabweichungen ( $\sigma$ ), Mediane sowie 97,5- und 2,5-Perzentile für die Anlagenkapazität und die Emissionsfaktoren für die Summe organischer Stoffe<sup>9</sup> sowie für Methan in der Tabelle aufgeführt. Für die Emissionsfaktoren wurden außerdem aggregierte Werte gebildet, d. h. Werte, die sich durch Division der summierten Emissionen durch die summierten Kapazitäten ergeben.<sup>10</sup>

In der Tabelle werden außerdem Anlagen unterschieden, deren Leistungsdaten als Lagerkapazitäten bzw. als Umschlagsleistung in den Emissionserklärungen angegeben sind. Letzteres trifft nur für neun Anlagen zur Lagerung von Flüssigkeiten zu. Für keine dieser Anlagen werden Methanemissionen separat ausgewiesen. Aufgrund des kleinen Datenkollektivs erscheint es nicht als sinnvoll, die Ermittlung von Emissionsfaktoren bezogen auf die Aktivitätsrate Umschlagsleistung weiter zu verfolgen.

---

<sup>9</sup> Summe organischer Stoffe einschließlich Methan ohne Unterscheidung der Stoffbezeichnungen *organische Verbindungen*, *VOC*, *NM VOC* und *Gesamt-C*. Die Summe ist als *VOC* zu interpretieren. Zur begrifflichen Abgrenzung zwischen Rohdaten und ausgewerteten Daten wird die Bezeichnung *Summe organischer Stoffe* verwendet (vgl. hierzu die Erläuterungen in Kapitel 3.1).

<sup>10</sup> Anders ausgedrückt: mit der Anlagengröße gewichtete Mittelwerte.

**Tabelle 4.** Lageranlagen: Zusammenfassung der aus den Emissionserklärungen ausgewerteten Emissionsfaktoren.

4. BImSchV		Gase Nr. 9.1	Flüssigk. Nr. 9.2	Gas + Fl. 9.1 + 9.2		Gase Nr. 9.1	Flüssigk. Nr. 9.2		
<b>Anlagenkapazität</b>		m <sup>3</sup> oder t ×1000				m <sup>3</sup> /a oder t/a ×1000			
Anzahl	Leistungsangabe ohne Zeitbezug (Aktivitätsrate Lagerkapazität)	12	129	141	Leistungsangabe mit Zeitbezug (Aktivitätsrate Umschlagsleistung)	0	9		
Mittel		5	208	191		--	2593		
σ		4	441	426		--	3216		
Median		1,3	70	60		--	1992		
97,5-Perzentil		19	1047	1029		--	8879		
2,5-Perzentil		0,01	1,3	0,1		--	129		
<b>Emissionsfaktoren</b>			g/(m <sup>3</sup> ×a) oder g/(t×a)				g/m <sup>3</sup> oder g/t		
<b>Σ org. Stoffe <sup>(1)</sup></b>									
Anzahl		12	129	141		0	9		
aggregiert <sup>(2)</sup>		637	100	102		--	3		
Mittel		1349	162	263		--	42		
σ		4169	760	1290		--	122		
Median		279	17	18		--	1		
97,5-Perzentil		9509	950	1185		--	295		
2,5-Perzentil		22	0,2	0,2		--	0,1		
<b>Methan</b>									
Anzahl		4	15	19		0	0		
aggregiert <sup>(2)</sup>		140	6	5		--	--		
Mittel		131	9	34		--	--		
σ		87	30	69		--	--		
Median		130	1	1		--	--		
97,5-Perzentil		217	77	210		--	--		
2,5-Perzentil		47	0,2	0,3		--	--		

<sup>(1)</sup> Summe aller erklärten organischen Emissionen für eine Anlage (organische Verbindungen, Gesamt-C, VOC, NMVOC, Methan).

<sup>(2)</sup> Summe der Emissionen aller Anlagen dividiert durch die Summe der Kapazitäten aller Anlagen.

Allen Datenkollektiven für Emissionsfaktoren ist gemeinsam, dass

- die Emissionsfaktoren sich über Wertebereiche mehrerer Größenordnungen erstrecken,
- immer der Mittelwert größer als der aggregierte Emissionsfaktor und dieser größer als der Median ist, und
- Mittelwert, aggregierter Wert und Median jeweils deutlich auseinanderliegen (mit Ausnahme des Emissionsfaktors für Methan von Anlagen nach 4. BImSchV Nr. 9.1).

Daraus lässt sich schließen, dass

- die Einzelanlagen der Datenkollektive sehr unterschiedlich hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens sind, und
- kleine Anlagen tendenziell höhere spezifische Emissionen, also höhere Emissionsfaktoren aufweisen als große Anlagen, obwohl dies aus den Abbildungen 4, 6, 9 und 11 zunächst nicht ersichtlich ist.

Aus den Ergebnissen lassen sich also keine für Einzelanlagen repräsentative Emissionsfaktoren ableiten.

Unterstellt man jedoch, dass die jeweiligen Datenkollektive einen zumindest repräsentativen Teil der insgesamt vorhandenen Anlagen abdecken, so können die aggregierten Emissionsfaktoren herangezogen werden. Zusammengefasst und gerundet, lassen sich die Emissionsfaktoren wie folgt abschätzen:

**Tabelle 5.** Abschätzung von Emissionsfaktoren zur Verwendung in der CRF-Systematik aus der Auswertung von Daten der Emissionserklärungen nach 11. BImSchV.

CRF	NMVOG	CH <sub>4</sub>	
1.B.2.a.iv Raffinieren und Lagerung			
• Raffinieren	?	?	
• Lagerung – flüssige Mineralölprodukte	100 (94)	5 (5)	g/(t×a) o. g/(m <sup>3</sup> ×a)
• Lagerung – gasförmige Mineralölprodukte	500 (497)	150 (140)	g/(t×a) o. g/(m <sup>3</sup> ×a)

oder

CRF	NMVOG	CH <sub>4</sub>	
1.B.2.a.iv Raffinieren und Lagerung			
• Raffinieren	?	?	
• Lagerung (fl. u. gasf. Mineralölprodukte)	100 (97)	5 (6)	g/(t×a) o. g/(m <sup>3</sup> ×a)

Die nicht in Klammern stehenden Zahlenangaben der Tabelle 5 sind angesichts der Streubreite der individuellen anlagenbezogenen Emissionsfaktoren grob gerundet. Zur besseren Nachvollziehbarkeit im Vergleich mit Tabelle 4 sind die nicht gerundeten Werte in Klammern angegeben.

Die Bezeichnung NMVOG in Tabelle 5 entspricht nicht der Bezeichnung in den Originaldatensätzen der Emissionserklärungen. Vielmehr ist hier die Summe aller organischen Verbindungen („organische Verbindungen“, „VOC“, „NMVOG“, „Gesamt-C“ und „Methan“) abzüglich Methan zu verstehen, die aber wiederum als NMVOG zu interpretieren ist.

Bei den Angaben zum Methananteil wurde angenommen, dass die Anlagen, deren Emissionserklärungen keine Angaben zu Methan enthalten, dieses lediglich nicht gesondert ausweisen und im Übrigen in gleicher Weise emittieren wie die Anlagen mit den entsprechenden Angaben. Allerdings liegen hier nur kleine Datenkollektive vor, die daher möglicherweise nicht repräsentativ sind.

Die Einheiten der Emissionsfaktoren sind als g/(t×a) oder g/(m<sup>3</sup>×a) angegeben und beziehen sich auf die Aktivitätsrate „Lagerkapazität“. Angesichts der Streubreite der individuellen anlagenbezogenen Emissionsfaktoren kann die Ungenauigkeit der nicht vorgenommenen Umrechnung vernachlässigt werden.

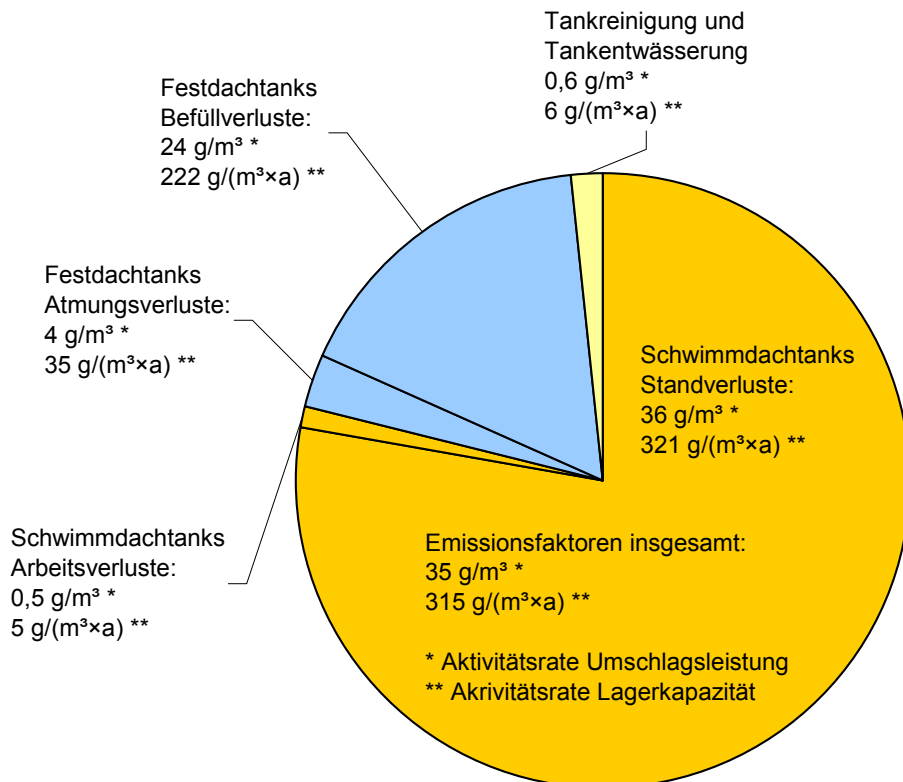
## 4 Ableitung von Emissionsfaktoren für die Lagerung von Mineralölprodukten über andere Herangehensweisen

### 4.1 Ergebnisse der Bottom-up-Analyse für ein Raffinerietanklager

Die nachfolgende Abbildung zeigt zusammenfassend das Ergebnis der Auswertung einer von Müller-BBM durchgeführten Studie zu Raffinerieemissionen [6]. Die Arbeits- und Stand- bzw. die Befüll- und Atmungsverluste wurden auf der Grundlage der VDI-Richtlinie 3479 abgeschätzt [7], [8]. Die Emissionen durch Tankreinigungen und Tankentwässerung wurden durch Expertenanalyse unter Berücksichtigung eigener Erfahrungen bei der messtechnischen Begleitung von Rohöltankreinigungen abgeschätzt.

Als Ergebnis können die folgenden Emissionsfaktoren festgehalten werden:

- 35 g/a Kohlenwasserstoffe je m<sup>3</sup> Umschlag gelagerter Stoff oder
- 315 g/a Kohlenwasserstoffe je m<sup>3</sup> Tankvolumen



**Abbildung 21.** Ergebnisse der Emissionsanalyse für das Tanklager einer Raffinerie mit einer Verarbeitungskapazität von 10 Millionen Tonnen pro Jahr für das Bezugsjahr 2001: Die Segmentgrößen entsprechen dem prozentualen Anteil an den gesamten Tankemissionen.

Dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung mit dem aus den Emissionserklärungen abgeschätzten Emissionsfaktor für die Summe organischer Stoffe von ca. 100 g/(t×a) oder g/(m<sup>3</sup>×a).

## 4.2 Ergebnisse von Emissionsmessungen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse einer von Müller-BBM im Jahr 2005 durchgeführten Emissionsmessung an drei Mitteldestillattanks (Festdachtanks für Zwischenprodukte) einer Raffinerie [9]. Es ergibt sich ein aggregierter Emissionsfaktor für den Befüllverlust von ca. 200 g/(m<sup>3</sup>×a) bezogen auf das installierte Tankvolumen.

**Tabelle 6.** Ergebnisse einer Emissionsmessung an drei Mitteldestillattanks einer Raffinerie.

Tank	Befüllzeiten (h/Jahr)	Tankvolumen (m <sup>3</sup> )	Messergebnis <sup>(1)</sup>		Jahresemission		Emissionsfaktor	
			(kg <sub>C</sub> /h)	(kg/h)	(kg <sub>C</sub> /a)	(kg/a)	(g <sub>C</sub> /m <sup>3</sup> ×a)	(g/m <sup>3</sup> ×a)
1	4.993	10.000	0,43	0,51	2.137	2.564	214	256
2	1.840	5.000	0,40	0,48	730	877	146	175
3	2.190	5.000	0,22	0,27	488	586	98	117
gesamt: <sup>(2)</sup>		20.000			3.356	4.027	168	201

<sup>(1)</sup> Bei der Gesamt-C-Messung wird das Ergebnis üblicherweise als Gesamt-C, d. h. nur unter Berücksichtigung der Kohlenstoffmasse angegeben. Bei Kraftstoffdämpfen, die im Wesentlichen aus C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>-Kohlenwasserstoffen bestehen, kann zur Umrechnung kg<sub>C</sub> in kg der Faktor 1,2 verwendet werden. In der Tabelle sind beide Werte angegeben.

<sup>(2)</sup> Der aggregierte Emissionsfaktor ist die Summe der Emissionen bezogen auf die Summe der Kapazität bzw. des Tankvolumens.

Auch dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung, sowohl mit dem aus den Emissionserklärungen für die Summe organischer Verbindungen abgeschätzten Emissionsfaktor von 100 g/(t×a) oder g/(m<sup>3</sup>×a), als auch mit dem im vorangegangenen Kapitel zitierten Wert von ca. 300 g/(m<sup>3</sup>×a) als Ergebnis einer Bottom-up-Analyse.

## 5 Zusammenfassung

Aus der Auswertung der Emissionserklärungen für Lageranlagen lassen sich wegen des offensichtlich sehr unterschiedlichen Emissionsverhaltens der einzelnen Anlagen keine für Einzelanlagen repräsentative Emissionsfaktoren ableiten.

Es können jedoch aggregierte Emissionsfaktoren gebildet werden, indem für die jeweiligen Datenkollektive die Summen aller Emissionen auf die Summen aller Kapazitäten bezogen werden. Diese Werte können herangezogen werden, sofern die Datenkollektive einen repräsentativen Teil der insgesamt vorhandenen Anlagen abdecken. Auf dieser Grundlage lassen sich Emissionsfaktoren zur Verwendung innerhalb der CRF-Systematik abschätzen. Die Ergebnisse der Abschätzung sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

**Tabelle 7.** Abschätzung von Emissionsfaktoren zur Verwendung in der CRF-Systematik aus der Auswertung von Daten der Emissionserklärungen nach 11. BImSchV.

CRF	NMVOC	CH <sub>4</sub>	
1.B.2.a.iv Raffinieren und Lagerung			
• Raffinieren	?	?	
• Lagerung – flüssige Mineralölprodukte	100	5	g/(t×a) o. g/(m <sup>3</sup> ×a) <sup>1)</sup>
• Lagerung – gasförmige Mineralölprodukte	500	150	g/(t×a) o. g/(m <sup>3</sup> ×a) <sup>1)</sup>

oder

CRF	NMVOC	CH <sub>4</sub>	
1.B.2.a.iv Raffinieren und Lagerung			
• Raffinieren	?	?	
• Lagerung (fl. u. gasf. Mineralölprodukte)	100	5	g/(t×a) o. g/(m <sup>3</sup> ×a) <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Die Einheiten beziehen sich auf die Aktivitätsrate „Lagerkapazität“. Die Ungenauigkeit der nicht vorgenommenen Umrechnung Masse – Volumen wird vernachlässigt.

Die in Tabelle 7 aufgeführten Werte sind grob gerundet und mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Eine genaue Bezifferung der Genauigkeit kann nicht gegeben werden. Allerdings werden die Emissionsfaktoren für NMVOC<sup>11</sup> zumindest in ihrer Größenordnung durch die Ergebnisse unabhängiger Herangehensweisen gestützt. So wurden im Rahmen einer Bottom-up-Analyse eines Raffinerietanklagers ein Wert von 300 g/(m<sup>3</sup>×a) und durch Messung an Mitteldestillattanks ein Wert von 200 g/(m<sup>3</sup>×a) ermittelt.

<sup>11</sup> Die Bezeichnung NMVOC in den Tabellen 5 und 7 entspricht nicht der Bezeichnung in den Originaldatensätzen der Emissionserklärungen. Vielmehr ist hier die Summe aller organischen Verbindungen („organische Verbindungen“, „VOC“, „NMVOC“, „Gesamt-C“ und „Methan“) abzüglich Methan zu verstehen, die aber wiederum als NMVOC zu interpretieren ist.



## 6 Ausblick

Um über die Emissionsfaktoren zum eigentlichen Ziel, der Ermittlung von Emissionen, zu gelangen, wird eine Abschätzung der Aktivitätsrate benötigt. Ausgehend von den Emissionserklärungen ist dies mit weiteren Unsicherheiten behaftet, da nicht bekannt ist, zu welchem Grad der Vollständigkeit der vorhandene Datenbestand den tatsächlichen Anlagenbestand abbildet. Darüber hinaus ist nicht bekannt, ob und gegebenenfalls in welchem Maße Tankläger in Raffinerien im Datenbestand enthalten sind.

Im Folgenden wird eine Herangehensweise skizziert, die zur groben Abschätzung verwendet werden kann, solange keine genaueren Daten vorliegen.

Für die zur Auswertung herangezogenen Datensätze summieren sich die in den Emissionserklärungen angegebenen Kapazitäten zu den folgenden Aktivitätsraten:

Anlagen nach Nr. 9.1 (Lagerkapazität): 0,1 Millionen t oder m<sup>3</sup>

Anlagen nach Nr. 9.2 (Lagerkapazität): 26,9 Millionen t oder m<sup>3</sup>

Anlagen nach Nr. 9.1 (Umschlagsleistung): 0

Anlagen nach Nr. 9.2 (Umschlagsleistung): 23 Millionen t/a oder m<sup>3</sup>/a

Nimmt man an, dass für die Anlagen mit Angabe der Aktivitätsrate als jährliche Umschlagsleistung diese in etwa der zehnfachen installierten Lagerkapazität, d. h. im vorliegenden Fall ca. 2-3 Millionen t oder m<sup>3</sup> entspricht, so ergibt sich eine Aktivitätsrate von insgesamt ca. 30 Millionen t oder m<sup>3</sup>. Einige Datensätze der Emissionserklärungen wurden wegen unplausibler oder unvollständiger Angaben von der Auswertung ausgeschlossen. Um dies zu berücksichtigen, sollte ein Sicherheitszuschlag addiert werden. Setzt man diesen in erster Näherung mit 10% an, so ergibt sich als Grobschätzung der Aktivitätsrate ein Wert von ca. 33 Millionen t oder m<sup>3</sup>.

Obwohl dies nicht gesichert ist, kann man weiter als Näherung annehmen, dass die so abgebildeten Lageranlagen von den Raffinerien abgegrenzt sind, und letztere getrennt betrachtet werden können.

Für Raffinerien kann eine andere Herangehensweise gewählt werden: als Aktivitätsrate bietet sich hier die Rohöldestillationskapazität an. Diese beträgt in Deutschland derzeit ca. 118 Millionen t/a [10]. Als Emissionsfaktor kann für die diffusen VOC-Emissionen in erster Näherung der in der VDI-Richtlinie 2440 [8] genannte Wert von 160 g Kohlenwasserstoffverlust je t Rohöldurchsatz angesetzt werden.<sup>12</sup> Der Methananteil kann in Analogie zu den Ergebnissen aus der Auswertungen der Emissionserklärungen konservativ mit 5-10% abgeschätzt werden.

---

<sup>12</sup> Die bereits zitierte Müller-BBM-Studie [6] kommt unter Anwendung der VDI-Richtlinien 2440 und 3479 zu einem ähnlichen Ergebnis von ca. 110 g/t Rohöldurchsatz. Die Emissionen teilen sich zu ca. 75% auf die Lagerung und 25% auf übrige Anlagen und Prozesse auf. Der entsprechende auf die Lagerung entfallende Emissionsfaktor beträgt bezogen auf die Lagerkapazität ca. 300 g/(m<sup>3</sup>×a)

Es ergibt sich das folgende Gesamtbild:

**Tabelle 8.** Abschätzung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten für die CRF-Kategorie 1.B.2.a.iv – diffuse Emissionen aus Öl – Raffinieren und Lagerung.

CRF	EF NMVOC	EF CH <sub>4</sub>	AR
1.B.2.a.iv Raffinieren und Lagerung			
• Raffinerien und Raffinerietankläger	150 g/t Rohöl	10 g/t Rohöl	118 Millionen t Rohöl/a
• Sonstige Lagerung	100 g/(t×a) o. g/(m <sup>3</sup> ×a)	5 g/(t×a) o. g/(m <sup>3</sup> ×a)	33 Millionen t o. m <sup>3</sup> Lagerkapazität

CRF: Common Reporting Format

EF: Emissionsfaktor

AR: Aktivitätsrate

NMVOC: non methane volatile organic compounds

Die Umrechnung Masse – Volumen bei Lagerkapazitäten wird vernachlässigt.

### **Gültigkeit der ermittelten Emissionsfaktoren für die Zeitreihe 1990 bis 2010**

Änderungen der Emissionsfaktoren können sich prinzipiell aus Änderungen in der Lagerung der flüssigen oder gasförmigen Mineralölprodukte ergeben. Hier sind durchaus Emissionsminderungen aufgrund verbesserter Abdichtungen oder z.B. durch den Einsatz der Gaspindelung zu erwarten.

Eine genauere Quantifizierung in Hinblick auf die Emissionsfaktoren aus Tabelle 8 konnte nicht vorgenommen werden, da keine detaillierten Zahlenangaben (Statistiken) über diese Entwicklungen der Lageranlagen vorliegen. Ggf. anzusetzende Verbesserungen gehen nach Stand der Tabelle 7 und Tabelle 8 in den Genauigkeiten der abgeschätzten EF unter.

Für NMVOC und CH<sub>4</sub> wird daher empfohlen, für den Zeitraum 1990 bis 2010 die in Tabelle 8 aufgeführten Emissionsfaktoren unverändert anzusetzen.

## 7 Quellen

- [1] Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- [2] Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen, 11. BImSchV) vom 29. April 2004, zuletzt geändert am 05. März 2007
- [3] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I Nr. 17 vom 20.03.1997 S. 504), zuletzt geändert am 11. August 2009 (BGBl. I Nr. 53 S. 2723)
- [4] Datenbestand DB\_EE2004\_23012009.mdb,  
Oberflächendatenbank EE-Emissionserklärungen\_2009.02.27.mdb,  
Abfrage 4d\_Anlagen\_Emissionen\_für\_relevante\_Stoffgruppen
- [5] Auswertedatei: Lageranlagen\_Abfrage\_4d\_Auswertung.xls
- [6] Müller-BBM 2003: Studie zu Raffinerieemissionen
- [7] VDI-Richtlinie 3479 (2002-05): Emissionsminderung – Raffinerieferne Mineralöltanklager
- [8] VDI-Richtlinie 2440 (2000-11): Emissionsminderung – Mineralölraffinerien
- [9] Müller-BBM 2005: Emissionsmessungen an Tanks für Mitteldestillate in einer Raffinerie
- [10] Mineralölwirtschaftsverband e. V., Berlin, Jahresbericht 2008, <http://www.mwv.de>