

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 202 44 372
UBA-FB 000581



VOC-Minderungspotenzial beim Transport und Umschlag von Mineralölprodukten mittels Kesselwagen

von

**Dr. Reinhard Joas
Alexander Potrykus
Rudolf Schott
Niels-Holger Peters
Jutta Geldermann
Otto Rentz**

BiPRO Beratungsgesellschaft für integrierte
Problemlösungen, München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

Vorauszahlung von 7,50 Euro

durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 432 765-104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Wolframstraße 95-96,
12105 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 2.3
Bernd Krause

Berlin, Februar 2004

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts VOC-Minderungspotenzial beim Transport und Umschlag von Mineralölprodukten mittels Kesselwagen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Reinhard Joas, Alexander Potrykus, Rudolf Schott, Niels-Holger Peters, Jutta Geldermann, Otto Rentz		8. Abschlußdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) BiPRO GmbH Grauertstraße 12 D-81545 München		9. Veröffentlichungsdatum
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin		10. UFOPLAN-Nr.
		11. Seitenzahl 69
		12. Literaturangaben
		13. Tabellen und Diagramme 13
		14. Abbildungen 12
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Das Ziel es Forschungsvorhabens bestand darin, die beim Transport von Mineralölprodukten mittels Kesselwagen auftretende VOC-Emissionen zu quantifizieren und darauf aufbauend geeignete Maßnahmenvorschläge zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen zu erarbeiten. Gegenwärtig werden bis zu 1,2 Kilotonnen VOC pro Jahr beim Transport von Ottokraftstoffen emittiert. Dies entspricht einem Anteil von etwa 1/40 der aktuellen NMVOC Emissionen aus der Verteilung von Ottokraftstoffen insgesamt, obwohl etwa 1/3 der Transporte von Ottokraftstoffen in Deutschland per Bahn durchgeführt werden. Andere Mineralölprodukte sind nicht VOC-emissionsrelevant. Durch eine Kombination verschiedener technischer, organisatorischer und logistischer Maßnahmen ließen sich die aktuellen Emissionen geringfügig weiter reduzieren. Folgende Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen sind denkbar: 1) Konsequente Implementierung der „best practice“ 2) Erhöhung des Wirkungsgrades der Abluftreinigung bei der Tankinnenreinigung 3) Verringerung der Restmengen beim Entleeren 4) Befüllung durch Bottom-Loading 5) Ausstattung von Kesselwagen mit Überdruck-Ablass-Anschluss, entsprechende Adaptierung der Befüllstationen und Modifikation des Befüllvorgangs (Anschluss an den Überdruck Ablass vor Öffnen des Domdeckels). 6) Erhöhung des Wirkungsgrades der Dämpferückgewinnung Die Maßnahmen (1) und (2) werden als Ergebnis einer technisch-ökonomisch-ökologischen Bewertung empfohlen, die Maßnahmen (3) bis (6) sind allenfalls in Einzelfällen empfehlenswert; ein gesetzgeberischer Handlungsbedarf wird hier nicht gesehen.		
17. Schlagwörter VOC; Kesselwagen; Mineralölprodukte; Ottokraftstoffe; Tankinnenreinigung; Emissionsminderung		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report UBA-FB	No. 2.	3.
4. Report Title VOC-Reduction potential during transport and handling of mineral oil products by means of rail tank cars		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Reinhard Joas, Alexander Potrykus, Rudolf Schott, Niels-Holger Peters, Jutta Geldermann, Otto Rentz		8. Report Date
		9. Publication Date
6. Performing Organisation (Name, Address) BiPRO GmbH Grauertstraße 12 D-81545 München		10. UFOPLAN-Ref. No.
		11. No. of Pages 69
		12. No. of Reference
		13. No. of Tables, Diagrams 13
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin		14. No. of Figures 12
15. Supplementary Notes		
16. Abstract <p>The objective of the research project was to quantify the emission of VOCs during the transport of mineral oil products by means of rail tank cars. The aim was furthermore to develop appropriate measures on the basis of the results in order to reduce or avoid emissions.</p> <p>At present approximately 1.2 thousand tons of VOC are annually emitted due to the railway transport of motor fuel. This corresponds to a share of about 1/40 of the total actual NMVOC-emissions from transport of motor fuel although in Germany approximately 1/3 of the transports are carried out by railway. Other mineral oil products are not relevant for VOC-emissions.</p> <p>A combination of several technical, organisational and logistic measures would enable to further reduce the actual emissions. The following measures for the mitigation and reduction of emissions would be possible:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Consequent implementation of the „best practice“. 2) Improvement of the efficiency of the exhaust air cleaning during inside cleaning of rail tank cars. 3) Reduction of remaining liquid during emptying procedures. 4) Filling by means of bottom loading. 5) Furnishing of rail tank cars with overpressure deflation junction and corresponding adaptation of filling stations and modification of the top-loading procedure (connection to the overpressure deflation junction before opening of the man hole cover). 6) Improvement of the efficiency of the vapour recycling installation. <p>The Measures (1) and (2) are recommended on the basis of a technical-economic-ecologic evaluation. The measures (3) to (6) are only recommendable in specific single cases. There is no need for legislative action.</p>		
17. Keywords VOC; rail tank cars; mineral oil products; liquid fuel for spark ignition; inside cleaning of rail tank cars; emission reduction		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
1 Hintergrund und Zielsetzung.....	6
2 Methodik und Projektkonzept	8
3 Bestandsaufnahme für Kesselwagen in Deutschland und Europa.....	9
4 Transportvolumen und Umschlaghäufigkeit von Mineralölprodukten	16
5 Emissionssituation: Ist-Werte und business-as-usual Prognose	26
6 Stand der Technik für die Tankinnenreinigung sowie die Behandlung und Entsorgung von Waschwässern.....	37
7 Ansatzpunkte für Maßnahmen zur VOC-Emissionsvermeidung und –verminderung	49
8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	55
9 Literaturverzeichnis	57
10 Anhang.....	60
10.1 Anhang: Fragebogen	60
10.2 Anhang: Mitglieder des Arbeitskreises.....	65
10.3 Anhang: Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	66

Kurzfassung

Hintergrund

Mit dem Göteborg Protokoll der UN/ECE und im Zuge der NEC-Richtlinie hat sich Deutschland verpflichtet, eine Emissionsgrenze von 995 kt/a NMVOC bis 2010 einzuhalten. Im Jahr 2000 wurden in Deutschland 1.605 kt NMVOC emittiert. Prognosen gehen für 2010 von 1.192 kt aus¹. Die vorhergesagten Emissionen für NMVOC übersteigen somit die angestrebte Zielemission um 197 kt. Daraus resultiert die Notwendigkeit, zusätzliche Emissionsreduktionspotenziale zu identifizieren und Maßnahmen zur Potenzialrealisierung einzuleiten.

VOC Emissionen entstehen auch beim Umschlag und Transport von Mineralölprodukten, wobei aus der Kombination der emissionsrelevanten Faktoren "umgeschlagene Menge", "eingesetzte Technik" und "Dampfdruck" Ottokraftstoffe als wichtigstes Mineralölprodukt für mögliche Reduktionspotenziale resultieren.

Die Emissionen aus der Verteilung von Ottokraftstoffen haben im Jahr 2000 etwa 41 kt betragen, für das Jahr 2010 wird mit 21 kt gerechnet¹, wobei die erwartete Verringerung sowohl aus der Umsetzung der 20. und der 21. BImSchV als auch aus einem prognostizierten leichten Rückgang des Verbrauchs an Ottokraftstoffen resultiert. Ottokraftstoffe werden mittels Schiff, Kesselwagen und Tanklastwagen transportiert und umgeschlagen.

Ziel des Forschungsvorhabens

Vor diesem Hintergrund bestand das Ziel des Forschungsvorhabens darin, die gegenwärtigen mit Kesselwagen verbundenen VOC Emissionen zu quantifizieren und darauf aufbauend geeignete Maßnahmenvorschläge zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen zu erarbeiten. Dabei sollte auch die Kesselwageninnenreinigung miteinbezogen werden.

Transportvolumen und Kesselwagenbestand

Gegenwärtig werden etwa 13 Millionen m³ Ottokraftstoffe in Deutschland per Bahnkesselwagen transportiert. Im Zuge dieses Transports kommt es zu maximal 300.000 Be- und Entladevorgängen. Der erwartete Rückgang in der Verteilung von Ottokraftstoffen erlaubt eine Prognose des Rückgangs der entsprechenden Bahntransporte auf etwa 10 – 11 Millionen m³ im Jahr 2010 unter der Voraussetzung, dass der Anteil der Bahntransporte an der Verteilung von Ottokraftstoffen stabil bleiben wird.

Die Anzahl der in Deutschland zugelassenen Kesselwagen beträgt 38.600. Davon sind etwa 11.000 – 12.000 für den Transport von Mineralölen und hiervon wiederum etwa 5.000 – 6.000 für Ottokraftstoffe im Einsatz.

Die eingesetzten Kesselwagen weisen unterschiedliche technische Merkmale auf. Signifikante Unterschiede bezüglich emissionsrelevanter Bauteile sind jedoch nicht gegeben.

¹ Nationales Programm der Bundesrepublik Deutschland nach Art. 6 RL 2001/81/EG vom 23.10.2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe

Festzuhalten ist, dass nur ein relativ kleiner Prozentsatz an Kesselwagen (< 10%) mit einem Überdruck Ablass-Anschluss ausgerüstet ist. Eine wichtige Orientierung für die technische Ausstattung liefert für neuere Wagen die Europäische Normenreihe EN 12561 „Bahnanwendungen – Kesselwagen“. Im Zuge des Erweiterungsprozesses der EU ist mit einer weiteren Verbreitung der Norm zu rechnen.

Emissionen beim Beladen

Die Beladung der Kesselwagen erfolgt im Inland durch Befüllanlagen, in die ein Gasrückgewinnungssystem integriert ist. Dabei wird ein Schutzrohr mittels eines aufblasbaren Kissens am Kesselwagendock abgedichtet. Über ein inneres Befüllrohr wird der Kesselwagen befüllt, während im Gegenzug die Abgase über das Schutzrohr und einen Gas Schlauch abgesaugt und einer Dämpferückgewinnung zugeführt werden. Entsprechend werden bei der Entleerung die im stationären Tank verdrängten Dämpfe in Rückgewinnungsanlagen geleitet.

Vor dem eigentlichen Befüllvorgang wird der Domdeckel des Kesselwagens geöffnet. Bis zum Zeitpunkt des Abdichtens über das aufblasbare Kissen des Füllarms können Emissionen auftreten. Die Höhe der Emissionen ist von der im entleerten Kesselwagen vorhandenen Restmenge an Ottokraftstoff, von Druck, Temperatur und der Dauer des Vorgangs zwischen Öffnen des Deckels und eigentlicher Befüllung abhängig. In dieser Phase können aufgrund verschiedener Effekte Emissionen verursacht werden. Insgesamt ist von einer Emissionsmenge von maximal 1,2 kt/a auszugehen.

Emissionen während des Transports

Moderne Kesselwagen sind für einen Betriebsdruck von 3 bar ausgelegt, der Prüfdruck beträgt 4 bar und der Berechnungsdruck 10 bar. Sie benötigen damit kein Sicherheitsventil für Überdruck. Ältere Kesselwagen verfügen über Überdrucksicherungsventile, die bei einem Überdruck von mehr als 1,5 bar öffnen. Ein Zwangsbelüftungsventil dient zugleich als Unterdrucksicherungsventil, das bei 0,21 bar bzw. 0,4 bar Unterdruck öffnet. Während des Transportes gelten die Kesselwagen als luftdicht verschlossen. Kesselwagen sind mit verschiedenen Dichtungen ausgestattet (Sicherheitsventile, Domdeckel, Entleerungsventile, etc.). Die Dichtungen bestehen aus geeigneten Kunststoffen. Beim Transport treten Druckschwankungen auf und Undichtigkeiten könnten daher zu VOC Emissionen führen. Dichtungen müssen ersetzt werden, sobald ihre Wirksamkeit nachlässt (Inspektion von Kesselwagen alle 4 Jahre, innere Inspektion und Reinigung spätestens nach jeweils 8 Jahren). Unter Einbeziehung eventueller Bedienungs- und Wartungsfehler lassen sich die Emissionen während des Transports zwar nicht exakt quantifizieren, jedenfalls aber mit weniger als 0,1 kt/a eingrenzen.

Emissionen beim Entladen

Beim Entladen wird der Ottokraftstoff über Pumpen abgesaugt, der Druckausgleich erfolgt über Frischluftzufuhr. Emissionen können durch Tropfverluste beziehungsweise Restmengen in Leitungsteilen nach dem Absperrventil auftreten.

Generell müssen nach EN 12561 die Entleereinrichtungen so gestaltet sein, dass in all ihren Bestandteilen möglichst wenig Ladegutrückstände zurück bleiben können. Dennoch bleiben nach Aussagen von Anlagenbetreibern und Kesselwagenbauern in den derzeit betriebenen Kesselwagen Restmengen an Ottokraftstoff zurück. Die Aussagen über den Umfang der Restmengen schwanken in der Regel zwischen 0 und 30 Litern (in Ausnahmefällen bis zu 100 Litern) und beziehen sich auf verschiedene Ursachen.

Die bei der Entleerung verbleibenden Restmengen emittieren in der Regel nicht vollständig, sie sind jedoch eine Quelle für Emissionen bei der Tankinnenreinigung und beim Befüllen von Kesselwagen.

Unter Einbeziehung möglicher Bedienungs- und Wartungsfehler lassen sich die maximalen Emissionen zwar nicht exakt quantifizieren, jedenfalls aber mit weniger als 0,1 kt/a eingrenzen.

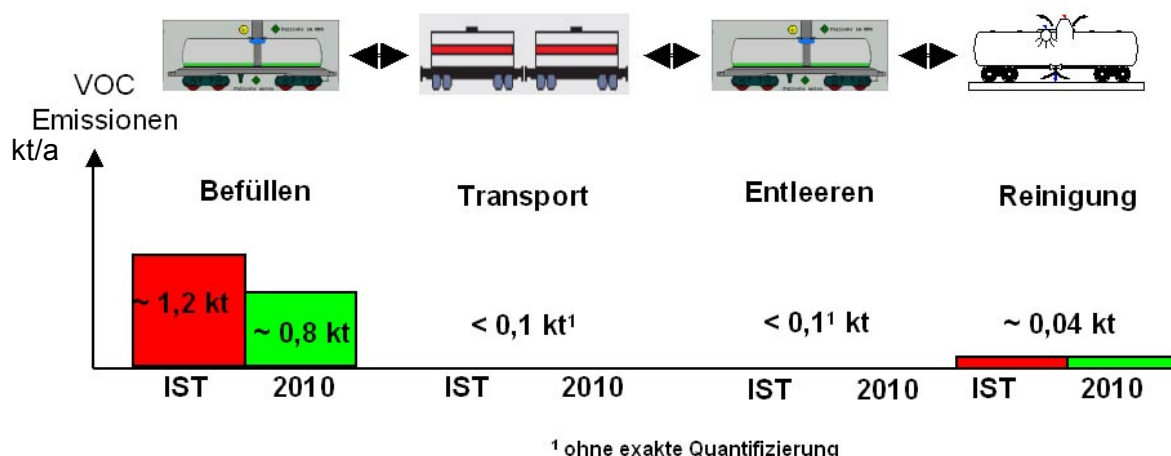
Emissionen bei der Tankinnenreinigung von Kesselwagen

Die bei der Tankinnenreinigung von Kesselwagen entstehenden Emissionen über die Abluft betragen maximal 0,04 kt/a.

Fazit Emissionen Ist und Business as usual

Aus Ottokraftstoffen, die in Deutschland mittels Eisenbahnkesselwagen transportiert und umgeschlagen werden, entstehen VOC Emissionen von bis zu 1,4 Kilotonnen pro Jahr (siehe Abbildung 1). Dies entspricht einem Anteil von etwa 1/40 der aktuellen NMVOC Emissionen aus der Verteilung von Ottokraftstoffen insgesamt, obwohl etwa 1/3 der Transporte von Ottokraftstoffen in Deutschland per Bahn durchgeführt werden.

Abbildung 1: Gesamtemissionssituation bei Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen: Ist und Prognose 2010



Unter Berücksichtigung der bis 2010 prognostizierten Mengenänderungen und unter der Annahme, dass keine zusätzlichen gesetzgebenden Maßnahmen getroffen werden (business as usual), würden die in Abbildung 1 aufgezeigten maximalen Emissionen resultieren.

Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von VOC Emissionen

Die Emissionssituation macht deutlich, dass der technische Ausrüstungsstand von Eisenbahnkesselwagen und Umschlagseinrichtungen bereits ein vergleichsweise hohes Niveau repräsentiert und Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung nur noch relativ geringe Emissionsreduktionspotenziale betreffen, die sich im wesentlichen auf das Handling beim Umschlag beschränken.

Durch eine Kombination verschiedener technischer, organisatorischer und logistischer Maßnahmen ließen sich die aktuellen Emissionen weiter reduzieren. Folgende Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen sind denkbar:

- 1) Konsequente Implementierung der „best practice“
- 2) Erhöhung des Wirkungsgrades der Abluftreinigung bei der Tankinnenreinigung
- 3) Verringerung der Restmengen beim Entleeren
- 4) Befüllung durch Bottom-Loading
- 5) Beschleunigte Ausstattung von Kesselwagen mit Überdruck-Ablass-Anschluss, entsprechende Adaptierung der Befüllstationen und Modifikation des Befüllvorgangs (Anschluss an den Überdruck Ablass vor Öffnen des Domdeckels)
- 6) Erhöhung des Wirkungsgrades der Dämpferückgewinnung

Tabelle 1 zeigt die zusammenfassende technisch-ökonomisch-ökologische Bewertung der möglichen Maßnahmen zur Reduktion der VOC Emissionen aus dem Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen mit Eisenbahnkesselwagen.

Tabelle 1: technisch-ökonomisch-ökologische Bewertung möglicher Maßnahmen zur Reduktion der VOC Emissionen

Mögliche Maßnahme	ökologisch sinnvoll?	technisch möglich?	ökonomisch sinnvoll?
(1) Durchsetzung „best practice“	ja	ja	ja
(2) Erhöhung Wirkungsgrad Ablufterfassung und -reinigung bei der Tankinnenreinigung	ja (Erfassung)	ja (Erfassung)	ja (Erfassung)
(3) Verringerung der Restmengen	ja	im Einzelfall	unsicher
(4) Bottom-Loading	unsicher	ja	nein
(5) Überdruck-Ablass-Anschluss	ja	ja	nein
(6) Erhöhung Wirkungsgrad Dämpferückgewinnung	unsicher	ja	nein

Die Bewertung macht folgendes deutlich:

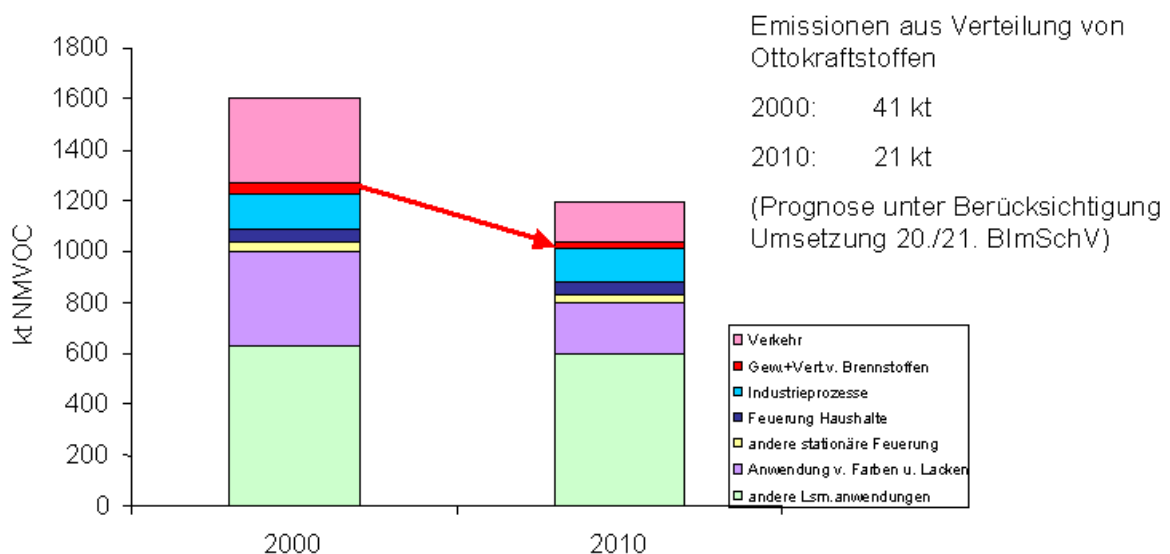
- Im Zuge des Forschungsvorhabens konnten nicht alle relevanten Anlagen in Deutschland in Augenschein genommen werden. Im Bericht wird in enger Abstimmung mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis eine "best practice" beschrieben, die nach Aussagen der Beteiligten in der Regel in Deutschland etabliert ist. Diese "best practice" lässt sich in Deutschland wirtschaftlich betreiben. Sollten einzelne Kesselwagen oder einzelne Anlagen zum Befüllen, Entleeren oder Reinigen von Kesselwagen die best practice nicht erfüllen, so sollte sowohl aus Sicht der in den Betrieben Verantwortlichen als auch aus Sicht des Vollzugs eine Implementierung der best practice durchgesetzt werden.
- Die Verbesserung der Erfassung von Emissionen bei der Tankinnenreinigung stellt sowohl eine technisch machbare als auch ökologisch und ökonomisch sinnvolle Maßnahme dar.
- Technische Maßnahmen zur Verringerung der Restmengen (3) können im Einzelfall ökologisch und ökonomisch sinnvoll sein. Spezifische gesetzgeberische Maßnahmen erscheinen aber aus Kosten-Nutzen Relationen nicht empfehlenswert, die Beteiligten sollten jedoch insbesondere bei neuen Kesselwagen darauf achten, dass die Vorgaben der EN 12561 erfüllt sind.
- Die technischen Maßnahmen (4) und (5) wären ökologisch sinnvoll und technisch realisierbar, sind aber aufgrund des relativ geringen Reduktionspotenzials (< 1 kt) im Vergleich zu dem hohen erforderlichen finanziellen Aufwand nicht empfehlenswert.
- Technische Maßnahmen in der Abluftbehandlung der Dämpferückgewinnung (6) sind allenfalls in Einzelfällen sinnvoll. Auch hier werden generelle staatliche Maßnahmen aus Kosten-Nutzen-Gründen nicht empfohlen.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Mit dem Göteborg Protokoll der UN/ECE und im Zuge der NEC-Richtlinie hat sich Deutschland verpflichtet, eine Emissionsgrenze von 995 kt/a NMVOC bis 2010 einzuhalten. Im Jahr 2000 wurden in Deutschland 1.605 kt NMVOC emittiert. Aktuelle Prognosen gehen für 2010 von 1.192 kt aus (siehe Abbildung 2). Die prognostizierten Emissionen für NMVOC übersteigen somit die angestrebte Zielemission um 197 kt. Daraus resultiert die Notwendigkeit, zusätzliche Emissionsreduktionspotenziale zu identifizieren und Maßnahmen zur Potenzialrealisierung einzuleiten.

VOC Emissionen entstehen auch beim Umschlag und Transport von Mineralölprodukten, wobei aus der Kombination der emissionsrelevanten Faktoren "umgeschlagene Menge", "eingesetzte Technik" und "Dampfdruck" Ottokraftstoffe als wichtigstes Mineralölprodukt für mögliche Reduktionspotenziale beim Transport mittels Kesselwagen resultieren.

Abbildung 2: Verteilung der NMVOC-Emissionen in Deutschland²



Die NMVOC-Emissionen aus der Befüllung von Transportmitteln für Straße, Schiene, Wasser innerhalb von Raffinerien (SNAP³ 050501) verursachen europaweit durchschnittlich 0,2 % der anthropogen bedingten NMVOC-Emissionen. Die Emissionen aus den eigentlichen Transportvorgängen sowie der Lagerung von Kraftstoffen außerhalb von Raffinerien, jedoch ohne Tankstellen, betragen weitere 0,9 % (SNAP 050502). Als Emissionsfaktoren

² Nationales Programm der Bundesrepublik Deutschland nach Art. 6 RL 2001/81/EG vom 23.10.2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe.

³ SNAP = Selected Nomenclature for Air Pollution; in CORINAIR verwendete Nomenklatur emissionsverursachender technischer Prozesse und Verfahren.

werden 200 – 500 g/t umgeschlagenem Ottokraftstoff für SNAP 050501 und 600 – 3.120 g/t für SNAP 050502 angegeben [EEA 2002]. Die Emissionen nur aus der Verteilung von Ottokraftstoffen in Deutschland betrugen im Jahr 2000 etwa 41 kt und für das Jahr 2010 wird mit 21 kt gerechnet⁴, wobei die erwartete Verringerung sowohl aus der Umsetzung der 20. und der 21. BImSchV⁵ als auch aus einem prognostizierten leichten Rückgang des Verbrauchs an Ottokraftstoffen resultiert. Ottokraftstoffe werden mittels Schiff, Produktenpipeline, Kesselwagen und Tanklastwagen transportiert und umgeschlagen. Abbildung 2 veranschaulicht die prognostizierte Entwicklung der NMVOC-Emissionen in Deutschland.

Als bestimmende Faktoren für Emissionsvermeidungspotenziale aus dem Bereich Transport und Umschlag von Mineralölprodukten mittels Kesselwagen sind anzusehen:

- Bestand und Ausstattung von Kesselwagen
- Ausstattung von Befüll- und Entleerstationen
- Ablauf der Befüll- und Entleerprozesse

Für die Umsetzbarkeit der Potenziale spielen weiterhin die technischen, ökologischen und ökonomischen Konsequenzen möglicher Maßnahmen eine wesentliche Rolle, so dass für Empfehlungen bezüglich geeigneter Maßnahmen eine integrierte Bewertung bestehender Optionen erforderlich ist.

Vor diesem Hintergrund besteht das Ziel des Forschungsvorhabens darin, die gegenwärtigen mit dem Transport von Mineralölen in Kesselwagen verbundenen VOC Emissionen zu quantifizieren und darauf aufbauend geeignete Maßnahmenvorschläge zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen zu erarbeiten. Dabei wird auch die Kesselwageninnenreinigung mit einbezogen.

⁴ Emissionsabschätzung für die Verteilung von Ottokraftstoff 2000 und Referenzprognose 2010.

⁵ Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen - 20. BImSchV) vom 27.5.1998, BGBl. I S. 1174, zuletzt geändert am 24.6.2002, BGBl. I S. 2247 (2249) und
Einundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen - 21. BImSchV) vom 7.10.1992, BGBl. I S. 1730, zuletzt geändert am 6. 5. 2002, BGBl. I S. 1566 (1570)

2 Methodik und Projektkonzept

Das Projektkonzept dient der Erarbeitung von nachvollziehbaren und begründeten Vorschlägen für logistische bzw. organisatorische und technische Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung von VOC Emissionen sowohl beim Transportmittel als auch bei Umschlagsvorgängen. Hierzu wurde eine Abfolge von Arbeitsschwerpunkten gewählt die logisch aufeinander aufbauend zu entsprechenden Ergebnissen führen:

- Als solide Datenbasis zur Einschätzung der Emissionssituation erfolgt eine Beschreibung des Kesselwagenbestands in Deutschland und Europa. Es werden sowohl die Ist-Situation als auch bestehende Planungen einbezogen (siehe Kapitel 3).
- Transportvolumen und Umschlaghäufigkeit von Mineralölprodukten werden als wichtige Inputgrößen zur Beurteilung der Emissionsrelevanz von Mineralölprodukten quantifiziert (siehe Kapitel 4).
- Die Emissionssituation wird sowohl beim Transport als auch bei den Umschlagsvorgängen dargestellt. Dabei wird sowohl die Ist-Situation quantifiziert als auch eine business-as-usual Prognose erstellt. Diese Prognose betrifft die erwartete Emissionsentwicklung unter Berücksichtigung der bestehenden Planungen, aber ohne zusätzliche Maßnahmen (siehe Kapitel 5).
- Zur Beurteilung der Emissionssituation bei der Tankinnenreinigung wird der Stand der Technik sowie die Behandlung und Entsorgung von Waschwässern dargestellt (siehe Kapitel 6)
- Auf der Grundlage der vorhergehenden Arbeitsschritte werden Möglichkeiten zur Vermeidung bzw. Verminderung von VOC Emissionen identifiziert (siehe Kapitel 7) und unter Berücksichtigung technischer, ökologischer und ökonomischer Konsequenzen bewertet.
- Schließlich werden umsetzungsorientierte Schlussfolgerungen und Empfehlungen formuliert (siehe Kapitel 8)

Als Informationsgrundlage dienen einschlägige Literatur und Normen sowie Fachgespräche mit Herstellern und Betreibern von Kesselwagen, Herstellern und Betreibern von Umschlagstationen und Tanklagern. Zusätzlich wurden Vor-Ort Besichtigungen von Anlagen zum Befüllen, Entleeren und Reinigen von Kesselwagen durchgeführt.

Zudem wurde zur Informationsbeschaffung eine Fragebogenaktion mit ausgewählten Experten durchgeführt. Der in diesem Zusammenhang erstellte Fragenbogen findet sich im Anhang.

Zur Begleitung des Projekts wurde ein Arbeitskreis unter Beteiligung des Umweltbundesamtes und der relevanten Stakeholder als Expertengremium eingerichtet. In regelmäßigen Abständen wurden die aktuellen Ergebnisse vor dem Arbeitskreis präsentiert und anschließend diskutiert. Die Mitglieder des Arbeitskreises sind im Anhang aufgelistet.

3 Bestandsaufnahme für Kesselwagen in Deutschland und Europa

Die technische Ausstattung von Kesselwagen ist ein wichtiger Parameter für mögliche Emissionen, so dass eine Bestandsaufnahme für deutsche und europäische Kesselwagen erforderlich ist, um die VOC Emissionen im Inland zu bewerten.

Die Anzahl der in Deutschland zugelassenen Eisenbahnkesselwagen betrug Ende 1998 ca. 38.500 mit einer Transportkapazität von insgesamt 2,6 Mio. m³ [MWV 1999a]. Davon sind etwa 11.000 – 12.000 für den Transport von Mineralölen im Einsatz, wovon für den Transport von Ottokraftstoffen⁶ derzeit etwa 5.000 - 6.000 Kesselwagen eingesetzt werden [Quelle: Fragebögen].

Emissionsrelevante technische Ausstattungsmerkmale von Kesselwagen für den Transport von Mineralölprodukten

Die in Deutschland eingesetzten inländischen und ausländischen Kesselwagen weisen unterschiedliche technische Merkmale wie Größe, Tankbauart, Zahl der Achsen, Art von Ventilen etc. auf. Daher werden zunächst potenziell emissionsrelevante technische Ausstattungsmerkmale bestimmt und die eingesetzten Kesselwagen danach differenziert. Dabei ist zu beachten, dass für die Emissionsrelevanz auch das Wechselspiel Kesselwagen - Umschlagstation bedeutsam ist.

Die 20. BImSchV⁷ enthält Vorschriften über Errichtung, Beschaffenheit und Betrieb von Anlagen für Lagerung, Umschlag und Transport von Ottokraftstoffen. In diesem Zusammenhang sind die §§ 4 und 5 über die „Befüllung und Entleerung von Lagertanks oder beweglichen Behältnissen in Lagertanks“ bzw. über „bewegliche Behältnisse“ relevant.

Als Grundlage für technische Ausstattungsmerkmale von Kesselwagen lässt sich insbesondere auch die Europäische Normenreihe EN 12561 „Bahnanwendungen – Kesselwagen“ heranziehen. Diese Normenreihe beschreibt die technische Ausstattung von Kesselwagen.

Die Norm wurde am 3. Januar 2002 vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) angenommen. Sie hat den Status einer deutschen Norm und die Normungsinstitute der EU Mitgliedstaaten und einer Reihe weiterer Länder (Island, Malta, Norwegen, Schweiz, Tschechischen Republik) sind gehalten, die Norm anzuwenden (siehe Abbildung 3).

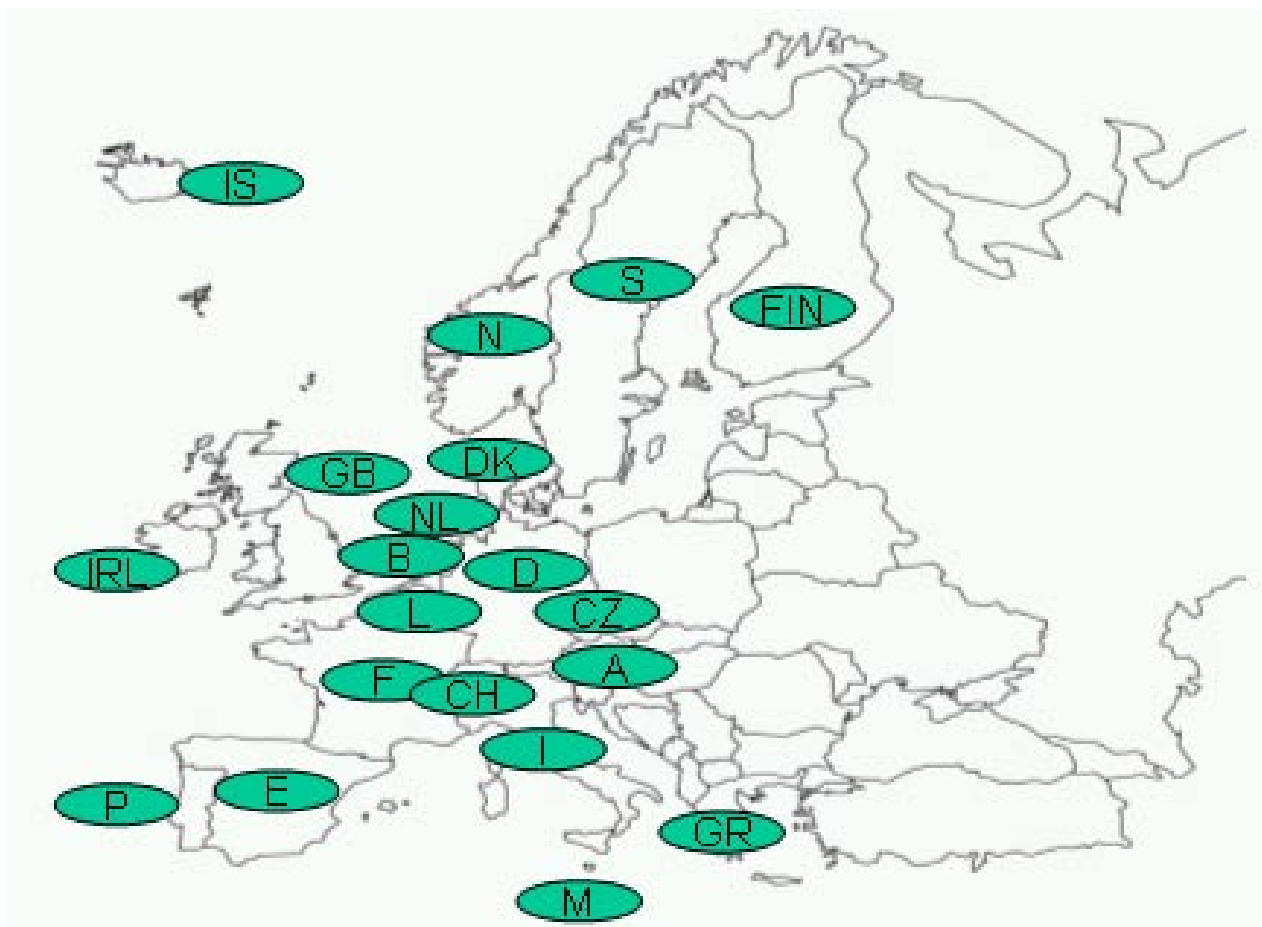
⁶ Ottokraftstoffe sind – wie in Kapitel 4 gezeigt wird - für die hier relevanten Emissionen die ganz überwiegend verantwortliche Produktgruppe.

⁷ Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen - Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 27.5.1998, BGBl. I S. 1174, zuletzt geändert am 24.6.2002, BGBl. I S. 2247 (2249)

Im Zuge des Erweiterungsprozesses der EU ist mit einer weiteren Verbreitung der Norm zu rechnen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anwendung der Normenvorschriften mittelfristig zu einer weitgehend einheitlichen emissionsrelevanten Ausstattung von Kesselwagen innerhalb Europas führen wird.

Die Normenreihe EN 12561 ist für eine Bezugnahme ins RID⁸ vorgesehen und wäre dann verbindlich anzuwenden. Dies geschieht aber erst, wenn das dafür vorgesehene Gremium festgestellt hat, dass die Anforderungen mit dem Regelwerk (hier RID) übereinstimmen.

Abbildung 3: Die Normungsinstitute der gekennzeichnete Länder sind angehalten, die EN 12561 anzuwenden



⁸ Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (RID)

Die EN 12561 besteht aus 8 Teilen wovon vor allem drei Teile im Zusammenhang mit der Emission von VOC von Bedeutung sind:

- Teil 2 (EN 12561-2): Untenliegende Entleereinrichtungen für flüssige Stoffe einschließlich Gaspendingung
- Teil 5 (EN 12561-5): Obenliegende Einrichtungen für Untenentleerung und Obenbefüllung von flüssigen Stoffen
- Teil 6 (EN 12561-6): Mannloch

In diesen Teilen der EN 12561 werden potenziell emissionsrelevante technische Merkmale von Kesselwagen beschrieben. Insbesondere sind folgende Merkmale relevant:

- Gaspendeleinrichtung (EN 12561-2)
- Entleereinrichtungen (EN 12561-2)
- Druck- und Vakuum-Sicherheitsventile (EN 12561-5)
- Mannloch und Überdruck-Ablass-Anschluss (EN 12561-6)
- Dichtungen (EN 12561)

Gaspendeleinrichtung

Die EN 12561-2 enthält spezifische Vorgaben zur Ausführung der Gaspendelleitung mit Zwangsbelüftungsventil und deren Kupplung.

Die Gaspendeleinrichtung im Kesselwagen selbst ist nicht für deutsche Umschlagstationen, sondern nur beim Befüllen oder Entladen in ausländischen Tanklagern ohne Dämpferückgewinnungsanlage relevant, da die Gaspendingung in deutschen Umschlagstationen durchgehend über die Umfülleinrichtung erfolgt. Die Ausrüstung der Kesselwagen mit Gaspendingung ist für die Emissionen von VOC aus dem Transport von Ottokraftstoffen im Inland daher unerheblich.

Die Beladung der Kesselwagen erfolgt im Inland durch Befülleinrichtungen, in die ein Gasrückgewinnungssystem integriert ist. Dabei wird ein Schutzrohr mittels eines aufblasbaren Kissens am Kesselwagendom abgedichtet. Über ein inneres Befüllrohr wird der Kesselwagen befüllt, während im Gegenzug die Abgase über das Schutzrohr und einen Gas Schlauch abgesaugt und einer Dämpferückgewinnung zugeführt werden.

Entleerungseinrichtungen

Tabelle 2 zeigt ausgewählte technische Details von Untenentleereinrichtungen an Kesselwagen, so wie sie üblicherweise in Deutschland eingesetzt werden.

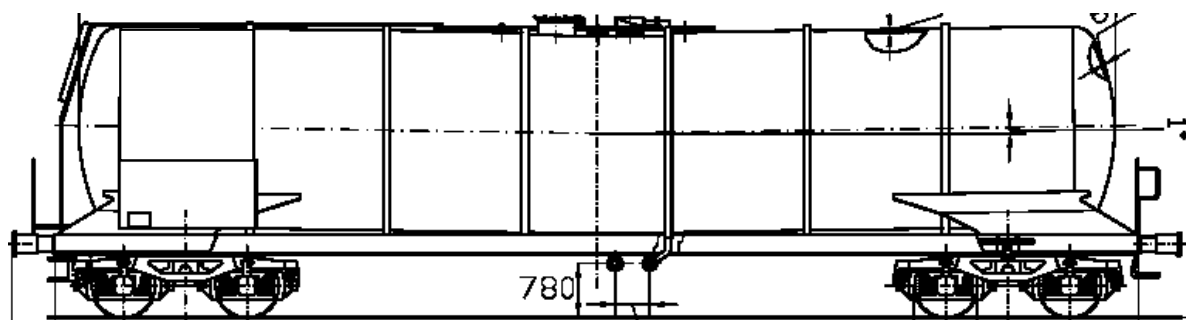
Tabelle 2: Beispiel für technische Details von Untenentleereinrichtung an Kesselwagen (Quelle: VTG-Lehnkering und EN 12561-2)

Ausstattungsmerkmal	Technische Details
Flurbedienbare Gaspendelung	EA 19.1, DN 80, mit Gewindeanschluss 2“, mit Unterdruckabsicherung
Zwangsbelüftungsventil	EA 15.5, DN 80, Bedienung mechanisch Kopplung mit Bodenventil oder Ausstattung mit 2 Sicherheitsventilen
Innenliegendes Bodenventil	BV40.3, DN 125/100, Bedienung mechanisch T-Stück DN 100
Außenliegendes Verteilerrohr	waagerechte Anordnung
Seitenventil	ZV 81.2, Schrägsitzfreiflussventil DN 100
Erdungsanschlüsse	Entsprechend den Vorschriften der DB

Generell müssen nach EN 12561 die Entleereinrichtungen so gestaltet sein, dass in all ihren Bestandteilen möglichst wenig Ladegutrückstände zurück bleiben können. Die Aussagen zu Restmengen, die beim Entleeren zurückbleiben und dann vor dem erneuten Befüllen emittieren könnten, sind widersprüchlich. Die Angaben schwanken von relativ hohen Restmengen (in Einzelfällen bis zu 100 Litern) über 20 – 30 Liter bis zu sehr geringen bzw. überhaupt keinen flüssigen Restmengen. Wie viel Restmengen beim Entleeren zurückbleiben hängt von verschiedenen Faktoren wie Auslaufzeit, Temperatur und Viskosität ab. In Einzelfällen können größere Mengen auch aufgrund von Bedienfehlern zurückbleiben.

Für Ottokraftstoffe werden üblicherweise Kesselwagen mit einem Tank eingesetzt, der in der Mitte um 1° geknickt ist, um eine möglichst vollständige Entleerung sicher zu stellen (siehe Abbildung 4). Die Entleereinrichtungen entsprechen in der Regel der Norm, so dass der Einfluss der Kesselwagenausstattung auf die verbleibende Restmenge als eher gering angesehen werden kann.

Abbildung 4: Restmengenminimierung durch 1° Tankknick



Druck- und Vakuumsicherheitsventile

Moderne Kesselwagen sind für einen Betriebsdruck von 3 bar ausgelegt, der Prüfdruck beträgt 4 bar und der Berechnungsdruck 10 bar. Sie benötigen damit kein Sicherheitsventil für Überdruck. Ältere Kesselwagen verfügen über Überdrucksicherungsventile, die bei einem Überdruck von mehr als 1,5 bar öffnen. Ein Zwangsbelüftungsventil dient zugleich als Unterdrucksicherheitsventil, das bei 0,21 bar bzw. 0,4 bar Unterdruck öffnet. Während des Transportes gelten die Kesselwagen als luftdicht verschlossen.

Mannloch und Überdruck-Ablass-Anschluss

Das Mannloch darf nach EN 12561 die Funktion der Gasabdichtungseinrichtung am Füllarm nicht beeinträchtigen. EN 12561-6 beschreibt für das Mannloch daher Vorgaben zur technischen Ausführung.

Weiterhin ist in der Norm ein Überdruck-Ablass-Anschluss vorgesehen, der den Druckausgleich zwischen Kesselwagen und Dämpferückgewinnungssystem der Füllstation ermöglicht, um die Emissionen an VOC herabzusetzen.

Der Überdruck-Ablass-Anschluss wird in der Praxis in keiner Befüllanlage in Deutschland genutzt, da die notwendigen Vorrichtungen auf Seiten der Umschlagstationen nicht vorhanden sind. Selbst im Neubau werden die Kesselwagen häufig nicht mit den entsprechenden Kupplungen versehen.

Dichtungen

Kesselwagen sind mit verschiedenen Dichtungen ausgestattet (Sicherheitsventile, Domdeckel, Entleerungsventile, etc.). Normvorschriften finden sich erneut in EN 12561. Die Dichtungen bestehen aus geeigneten Kunststoffen. Beim Transport treten erhebliche Druckschwankungen auf und Undichtigkeiten könnten daher zu relevanten VOC Emissionen führen. Allerdings müssen Dichtungen ersetzt werden, sobald ihre Wirksamkeit nachlässt.

Hinsichtlich der bei der Beförderung auftretenden Druckspitzen und damit möglichen Undichtheiten ist zu sagen, dass dies bei Kesselwagen ohne Sicherheitsventile nur in der Abdichtung des Domdeckels zu erwarten wäre. Um dem entgegenzuwirken hat nach den Sicherheitspflichten des RID und nach § 9 der GGVSE der Befüller von Tanks dafür zu sorgen, dass nach dem Befüllen die Dichtheit der Verschlusseinrichtungen geprüft wird. Die Nichtbeachtung dieser Verpflichtung ist bußgeldbewehrt. Diese Prüfung des Befüllers erfolgt unabhängig von den regelmäßigen Inspektionen, die durch Sachverständige durchgeführt werden.

Mengenmäßige Differenzierung inländischer Kesselwagen nach emissionsrelevanten technischen Ausstattungsmerkmalen

Tabelle 3 enthält Ergebnisse bezüglich der oben beschriebenen Ausstattungsmerkmale von inländischen Kesselwagen, die für den Transport von Ottokraftstoffen eingesetzt werden.

Tabelle 3: Ausstattung von in Deutschland eingesetzten Kesselwagen mit emissionsrelevanten technischen Merkmalen [Quelle: Fragebogenaktion, Expertengespräche]

Emissionsrelevantes Merkmal	Stückzahl	Prozent
Gaspendeleinrichtung	ca. 3300	~55
Entleereinrichtungen	> 5000 – 6000	100
Sicherheitsventile für Unterdruck	5000 – 6000	~ 100
Sicherheitsventile für Überdruck	Ca 3000	~ 50 ^{a)}
Überdruck-Ablass-Anschluss	< 600	<10
geeignete Dichtungen	5000 – 6000	~ 100

^{a)} Auf 3 bar Betriebsdruck ausgelegte Kesselwagen benötigen kein Überdrucksicherheitsventil

Überblick über die in Deutschland eingesetzten ausländischen Kesselwagen

Ausländische Kesselwagen, die in Deutschland eingesetzt werden, kommen etwa zur Hälfte aus anderen EU Mitgliedstaaten und zur Hälfte aus Nicht-EU-Ländern.

Die emissionsrelevante Ausstattung von ausländischen Kesselwagen ist mit derjenigen deutscher Kesselwagen weitgehend vergleichbar. Bauliche Unterschiede können zu anderen Öffnungsdrücken der Sicherheitsventile führen. Diese Unterschiede sind jedoch nicht weiter emissionsrelevant. Die EN 12561 wird mittelfristig dazu führen, dass gegenwärtig noch bestehende Unterschiede sich angleichen.

Die derzeitigen Planungen für den Kesselwagenbestand in Deutschland und in Europa lassen insgesamt einen geringfügigen Rückgang des Kesselwagenbestandes für 2010 erwarten wobei der Anteil der nicht in Deutschland zugelassenen Kesselwagen, die in Deutschland eingesetzt werden, tendenziell zurückgehen wird.

Exkurs: Ausstattungsmerkmale von Befüll- und Entleerstationen

Wie bereits erwähnt, können emissionsrelevante technische Ausstattungsmerkmale von Kesselwagen nicht isoliert von den Befüll- und Entleerstationen gesehen werden, da gerade das Zusammenspiel der technischen Einrichtungen für mögliche Emissionen wesentlich ist.

Im Folgenden wird daher im Überblick auf die wichtigsten Elemente von Befüll- und Entleerstationen eingegangen:

- Entleerung:
verdrängte Dämpfe werden über dampfdichte Verbindungsleitung an Abgasreinigungsanlage (Dämpferückgewinnungsanlage) geführt sofern keine Schwimmdach-tanks eingesetzt werden. Eine Rückpendelung der ggf. im Tank verdrängten Luft wird in Deutschland nicht praktiziert.
 - ⇒ Kesselwagen und Tank bilden ein geschlossenes System während der Entleerung.
 - ⇒ Geringfügigste Tropfverluste beim Abkuppeln der Verbindungsleitungen sind möglich.
 - ⇒ Restmengen im Kesselwagen primär von der Bauart des Kesselwagens abhängig. Diese bestimmen die Konzentration im Kesselwagen, die sich bis zur Widerbefüllung bildet.
- Befüllung (siehe auch Abbildung 9):
Die Befüllung erfolgt mittels dicht angeschlossener Rohr-in Rohr Systemen. Das Doppelrohr für Befüllung und Gaserfassung wird mittels aufblasbarer Ringdichtung dicht mit dem Kesselwagen verbunden
- Unterspiegelbefüllung: Füllarm nahe am Kesselwagenboden, dadurch verminderte Turbulenzen und geringere Verdunstungsverluste.
 - ⇒ Kesselwagen und Tank bilden ein geschlossenes System während der Befüllung.
 - ⇒ Die emissionsbestimmenden Faktoren sind die Vor- und Nachstätigkeiten (Öffnen und Wiederverschließen des Kesselwagens).

Grenzwerte von Abgasreinigungs- (Dämpferückgewinnungs-)anlagen für Ottokraftstoffe

- bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen: Reinigungsgrad mindestens 97%, maximal 35 g VOC/m³
- bei genehmigungsbedürftigen Anlagen: maximal 0,15 g VOC/m³ wenn Massenstrom > 3kg/h: maximal 5 g VOC/m³ wenn Massenstrom < 3kg/h

4 Transportvolumen und Umschlaghäufigkeit von Mineralölprodukten

Bedeutung und Transportrelevanz der verschiedenen Mineralölprodukte

Beim Umschlag und Transport von Mineralölprodukten sind insbesondere drei Parameter für die Höhe der dabei auftretenden VOC-Emissionen verantwortlich:

- der Dampfdruck der Mineralölprodukte,
- die umgeschlagene Menge, und
- die bei Kesselwagen und Umschlagsstationen eingesetzte Technik.

Dabei gilt:

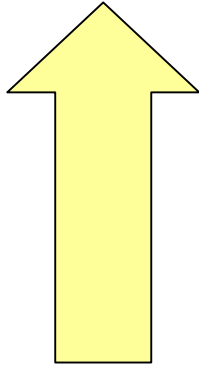
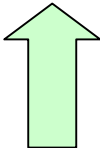

- ein höherer Dampfdruck von Mineralölprodukten führt zu höheren Emissionen, und
- höhere Transportvolumina und Umschlagzahlen führen zu höheren Emissionen.

Aus der Kombination von Dampfdruck und Umschlags- und Transportvolumen lassen sich bei gegebenem Kesselwagenbestand die für VOC Emissionen wichtigsten Mineralölprodukte selektieren.

Tabelle 4 liefert einen Überblick über den spezifischen Dampfdruck gängiger Mineralölprodukte und die resultierende Emissionsrelevanz bei angenommenem gleichem Transport- und Umschlagsvolumen aller Produkte. Nach ihrem Dampfdruck lassen sich danach drei Gruppen von Mineralölprodukten erstellen.

1. Solche mit sehr niedriger Flüchtigkeit und allgemein zu vernachlässigender Emissionsrelevanz (z.B. Schmierstoffe),
2. Solche mit niedriger Flüchtigkeit und allgemein geringer Emissionsrelevanz (z.B. Flugturbinentreibstoff, Dieselmotorkraftstoff, schweres Heizöl), und
3. Solche mit mittlerer bis hoher Flüchtigkeit (Dampfdruck > 1 kPa) und daher grundsätzlich beachtlicher Emissionsrelevanz (z.B. Flüssiggas, Ottomotorkraftstoffe, Rohbenzin).

Tabelle 4: Dampfdrücke und Relevanz für NMVOC Emissionen bei gleichem Transport und Umschlagsvolumen [Ullmanns 2002]

Mineralölprodukt	Dampfdruck bei 293,15 k und Normaldruck [kPa]	Emissionsrelevanz bei gleichem Transport- und Umschlagsvolumen
Flüssiggas	735-837	
Ottokraftstoff (Winter)	60-90	
Ottokraftstoff (Sommer)	45-60	
Flugbenzin	35-90	
Testbenzin	10-15	
Spezialbenzin	3,5-8,3	
Benzol	9,9	
Toluol	2,9	
Xylol	0,9	
Rohbenzin	ca. 25	
Flugturbinentreibstoff	0,2	
Leuchtöle	0,2	
Dieselmotorkraftstoff	0,1	
Heizöl, leicht	0,1	
Heizöl, schwer	0,01	
HS-Komponenten	< 0,01	
Schmierstoffe	<< 0,01	
Bitumen	< 10 ⁻⁶	
Petrolkoks	Feststoffe	

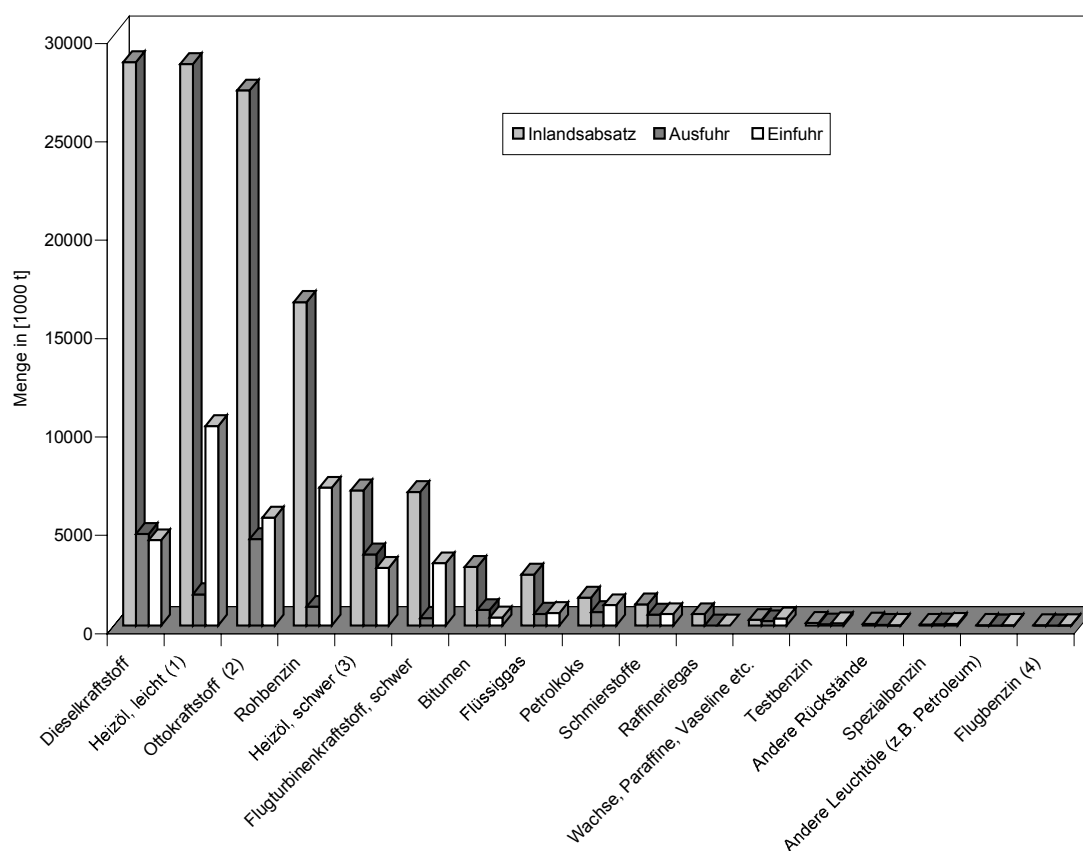
Transportvolumen

Um die Mineralölprodukte in Bezug auf ihre durch Transport und Umschlag verursachte Emissionsrelevanz zu unterteilen, sind neben den spezifischen Dampfdrücken der Produkte die transportierten Mengen zu beachten. Die Abschätzung der jeweiligen Transportvolumina erfolgt zunächst mittels der entsprechenden Produktionsstatistiken. Dabei sind neben dem Inlandsabsatz auch die jeweiligen Import- und Exportmengen von Bedeutung.

Der gesamte deutsche Inlandsabsatz an Mineralölprodukten belief sich 2002 auf 123,7 Mio. t [MWV 2003] ⁹. Abbildung 5 veranschaulicht den Inlandsabsatz sowie die Ein- und Ausfuhrmengen der verschiedenen Mineralölprodukte als Maßstab für deren Transportvolumen und Umschlaghäufigkeit. Danach verzeichnen leichtes Heizöl, Diesel- und Ottokraftstoff die bei weitem höchsten Absatzmengen, gefolgt von Rohbenzin, schwerem Heizöl und schwerem Flugturbinenkraftstoff. Die Absatzzahlen aller anderen Produkte betragen maximal 10 % des Absatzes von Dieselmotorkraftstoffen und sind daher mengenmäßig ohne weitere Bedeutung.

⁹ Ohne Abzug der Doppelzählungen aus Recycling von Altöl und Chemierücklauf.

Abbildung 5: Import, Export und Inlandsabsatz von wichtigen Mineralölkomponenten im Jahr 2002 [MWV 2003]



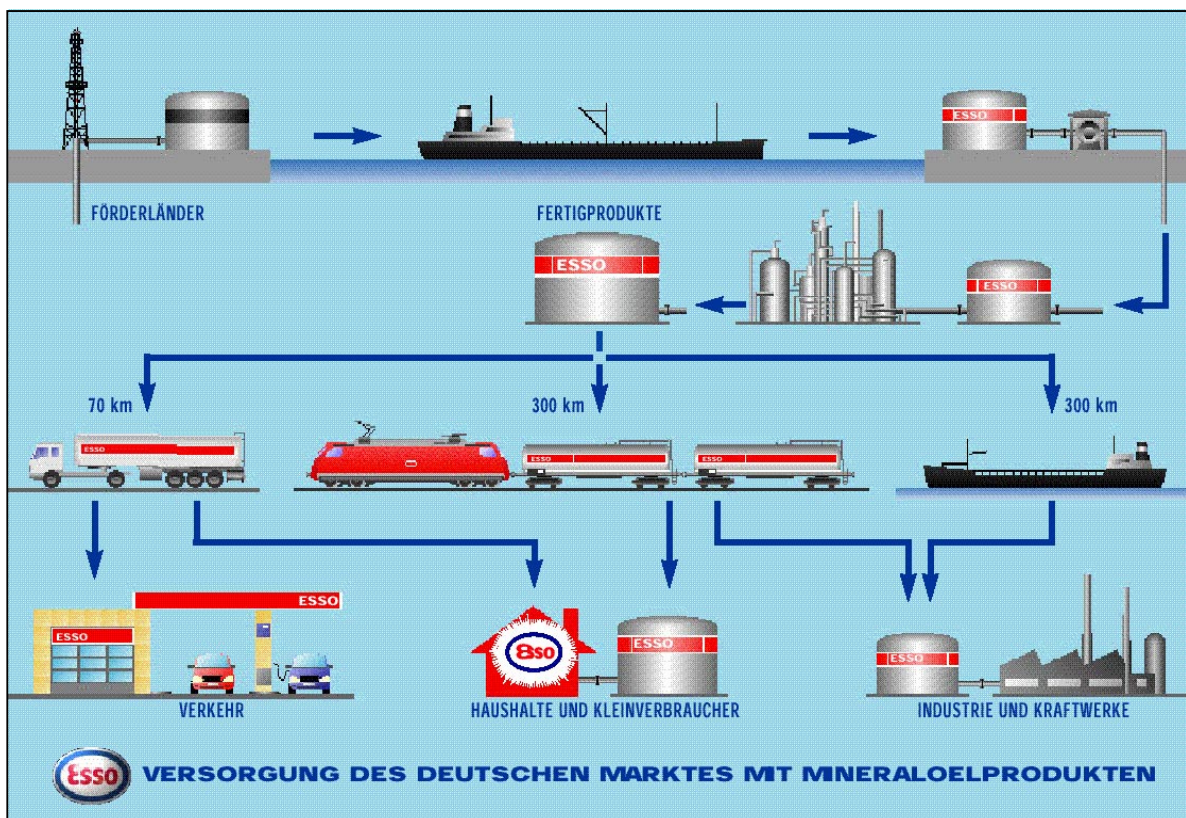
- (1) einschl. Mitteldestillatkomponenten
- (2) einschl. Benzinkomponenten
- (3) einschl. HS-Komponenten
- (4) einschl. Flugturbinenkraftstoff, leicht

Ottokraftstoffe besitzen aufgrund ihres vergleichsweise hohen Dampfdrucks (45 – 90 kPa) und der hohen umgeschlagenen Mengen (Summe aus Inlandsabsatz, Import und Export etwa 37 Mio. t in 2002) somit eine ausgesprochen hohe Emissionsrelevanz. Ein von der Flüchtigkeit und den umgeschlagenen Mengen ebenfalls sehr bedeutsames Produkt ist Rohbenzin. Dieses wird nach Aussagen des projektbegleitenden Arbeitskreises jedoch weit überwiegend per Binnenschiff und Produktpipeline transportiert, so dass es keine Transportrelevanz für Kesselwagen besitzt und im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter berücksichtigt wird.

Die Dampfdrücke der ebenfalls mengenbedeutsamen Mineralölprodukte (Summe aus Inlandsabsatz, Import und Export > 10 Mio. t) Heizöl leicht, Heizöl schwer, Dieseldkraftstoff, und schwerer Flugturbinenkraftstoff sind deutlich geringer, so dass hier trotz der hohen Transportmengen nur eine vergleichsweise geringe Emissionsrelevanz gegeben ist. Im Arbeitskreis wurde daher beschlossen, sich im weiteren Projektverlauf auf den Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen zu beschränken.

Ausgehend von den umgeschlagenen Mengen wird ausgehend von der Logistikkette von Mineralölprodukten nun der Transportanteil von Ottokraftstoffen in Kesselwagen ermittelt. Prinzipiell kommen für den Transport von Rohöl und Mineralölprodukten die Verkehrsträger See- und Binnentankschiffe, Rohrleitungen (Pipelines), Eisenbahnkesselwagen und Straßentankfahrzeuge zum Einsatz (Abbildung 6).

Abbildung 6: Transport von Rohöl und Mineralölprodukten [ESSO 2003]



Die relevanten Transportketten für Ottokraftstoffe sind dabei die Belieferung von Großtanklagern ab Raffinerie und die flächenhafte Versorgung von Tankstellen, die entweder direkt ab Raffinerie oder über Tanklager beliefert werden. Die Tankstellenversorgung kann in dieser Betrachtung unberücksichtigt bleiben, da hierzu ausschließlich Straßentankfahrzeuge eingesetzt werden. Tanklager hingegen werden mittels Kesselwagen-Ganzzügen, Binnentankschiffen oder Produkt-Pipelines versorgt [MWV 1999a]. Weitere geringfügige Transporte von Ottokraftstoffen in Eisenbahnkesselwagen können sich beim Im- und Export sowie im Durchgangsverkehr ergeben. Ein nennenswerter Transport von Kraftstoffen zwischen verschiedenen Tanklagern findet dabei nach Auskunft der Arbeitskreismitglieder nicht statt.

Spezifische Informationen über den Transport von Ottokraftstoffen in Kesselwagen liegen jedoch nicht vor, so dass die Transportmengen zunächst über einen top-down-Ansatz zum Transportaufkommen von Mineralölprodukten abgeschätzt werden. Die so ermittelten

Mengen werden anschließend mit weiteren Datenquellen abgeglichen. Dabei wird beim Kesselwagentransport angenommen, dass sämtliche Mengen jeweils nur einmal transportiert werden, d. h. dass das Marktvolumen dem jeweiligen Transportvolumen entspricht¹⁰.

In den letzten Jahren wurden im gesamten binnenländischen Mineralölverkehr jeweils 25 – 30 Mio. Tonnen entsprechend ca. 30 Gew.% der insgesamt transportierten Menge per Eisenbahn transportiert [MWV 1999a]. Überträgt man diesen Anteil auf die 27 Mio. t Inlandsabsatz von Ottokraftstoffen, ergibt sich ein Bahnkessel-Transportvolumen im Binnenverkehr von ca. 8,2 Mio. t. Hinzu kommt der Transport im internationalen Verkehr, wobei jedoch von einem geringeren Prozentsatz an Bahntransporten auszugehen ist. Bei einem angenommenen Anteil von 15 – 20 % werden durch Ein- und Ausfuhren von 9,9 Mio t zusätzlich ca. 1,5 – 2 Mio. t Ottokraftstoffe in Kesselwagen transportiert. Damit ergeben sich als Transportmenge von Ottokraftstoffen in Eisenbahnkesselwagen insgesamt etwa 10 Mio. t. Bei einer durchschnittlichen Dichte von 0,75 g/cm³ entspricht dies einem Transportvolumen von etwa 13 Mio. m³ (Tabelle 5). Diese Zahlen werden in Abstimmung mit dem Arbeitskreis als Grundlage für die weiteren Berechnungen herangezogen.

Tabelle 5: Marktvolumen für Benzinprodukte [MWV 2003]

	Inlands- absatz / Binnen- verkehr	Ausfuhr	Einfuhr	Gesamt
Marktvolumen Ottokraftstoffe [kt]	27.195	4.397	5.488	37.080
Anteil Transportmenge per Bahn [%]	~ 30	15 – 20	15 – 20	
Transportmenge von Ottokraftstoffen per Bahn [kt]	~ 8.000	~ 800	~ 1.000	~ 10.000
Transportvolumen von Ottokraftstoffen per Bahn [1000 m³] ⁽¹⁾	~ 11.000	~ 1.100	~ 1.300	~ 13.000
⁽¹⁾ Bei einer durchschnittlichen Dichte von 0,75 g/cm ³ .				

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich anhand anderer Angaben deutlich geringere Transportmengen für Ottokraftstoffe in Kesselwagen ergeben. Nimmt man die Erhebungen des statistischen Bundesamtes als Grundlage, liegt der Anteil der Bahntransporte für die für Ottokraftstoffe relevante Gütergruppe 321 „Motorenbenzin“ im Jahr 2001

¹⁰ Nach Aussagen von Arbeitskreismitgliedern könnte die insgesamt transportierte Menge aufgrund von Mehrfachumschlag rund das 2-3 fache des Inlandsabsatzes betragen. Dies ergibt sich bei einem Wechsel des Transportmittels, wenn z.B. nach dem Bahntransport (zum Tanklager) der Weitertransport zur Tankstelle per TKW erfolgt. Ein prinzipiell möglicher Mehrfachumschlag zwischen Kesselwagen ist laut Arbeitskreis nicht praxisrelevant und bleibt daher bei der vorliegenden Betrachtung unberücksichtigt.

bei nur durchschnittlich 9,5 % oder insgesamt knapp 6 Mio. Tonnen [Statistisches Bundesamt 2002]. Die als Grundlage in Abstimmung mit dem Arbeitskreis angesetzten 10.000 kt stellen somit einen „worst case“ im Sinne des Vorsorgeprinzips dar.

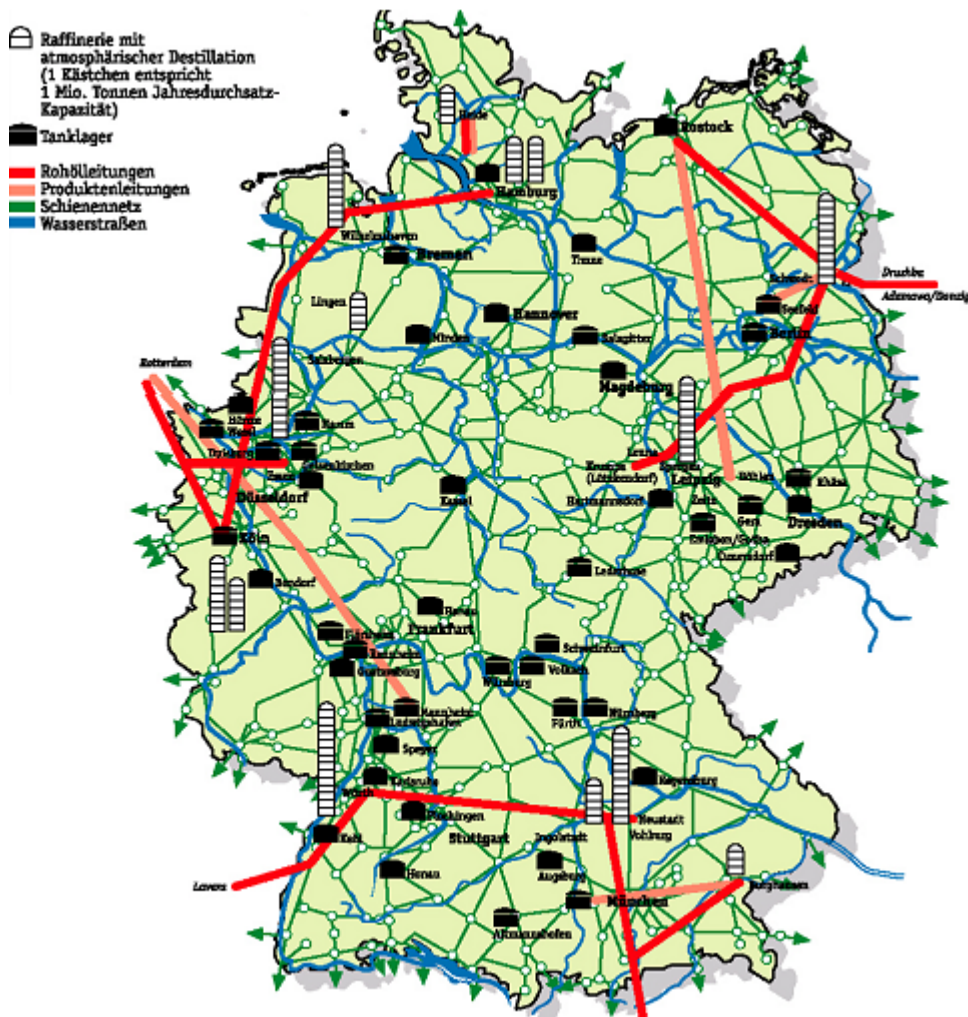
Umschlaghäufigkeit, Transportentfernung und Dauer

Zur Beurteilung der Emissionssituation beim Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen mittels Eisenbahnkesselwagen sind neben der per Kesselwagen beförderten Menge ebenfalls die damit verbundene Umschlaghäufigkeit und die durchschnittliche Transportentfernung bzw. -dauer zu ermitteln. Beides kann nicht isoliert von den Standorten der wesentlichen Produktions- und Lagereinrichtungen betrachtet werden.

Bis in die 60er Jahre wurden Raffinerien vorwiegend rohstofforientiert, d.h. in der Nähe der Einfuhrhäfen für Rohöl gebaut. Gekoppelt an eine stark steigende Nachfrage von Mineralölprodukten sowie an steigenden Kraftstoff- und Heizölverbrauch, wurden Raffineriekapazitäten später konsumorientiert, d.h. in der Nähe der Verbraucherzentren im Ruhrgebiet, im Südwesten und im Süden Deutschlands errichtet [MWV 1999]. Zur Zeit existieren in Deutschland 14 rohölverarbeitende Raffinerien, deren Rohöldestillationskapazität 2002 gut 113,8 Mio. Jahrestonnen betrug [MWV 2003]. Bezüglich der Raffineriekapazitäten steht Deutschland damit weltweit an sechster Stelle [Dippel und von Dincklage 2000].

Tanklager dienen insbesondere der Zwischenlagerung von Heizöl, Ottokraftstoffen sowie Diesel. Mit der Liberalisierung der Transportmarkts 1993 nahm jedoch die Direktbelieferung von Tankstellen im Vergleich zum Umschlag über Tanklager aufgrund der sinkenden Transportpreise im Straßengüterverkehr deutlich zu. Dementsprechend kam es zur Schließung von Tanklagern, so dass bundesweit nur noch rund 45 Großtanklager (Stand Ende 1998) zu verzeichnen sind. Insgesamt waren 1997 in Deutschland 46.774 Tanklager über 1.000 m³ außerhalb von Raffinerien und sonstiger Verarbeitungsstätten in Betrieb [MWV 1999a]. Die geographische Lage und die Kapazitäten der Mineralölraffineriestandorte und Großtanklager in Deutschland zeigt Abbildung 7.

Abbildung 7: Mineralölraffineriestandorte und Tanklager [Bundesministerium für Verkehr, Deutsche Bundesbahn, in: MWV 1999a]



Zur Abschätzung der Umschlaghäufigkeit wird davon ausgegangen, dass je Transportweg nur ein Transportmittel eingesetzt wird, d. h. dass kein Umladevorgang auf dem Weg von der Raffinerie zum Tanklager erfolgt. Dies bedeutet, dass im Binnenverkehr mit jedem Transport sowohl die Be- als auch die Entladung, bei der Ein- und Ausfuhr jedoch jeweils entweder nur die Ent- bzw. Beladung im Inland erfolgt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass Ottokraftstoffe in Kesselwagen mit einem mittleren Fassungsvermögen von 90 m^3 transportiert werden. Die maximale Beladung beträgt bei Ottokraftstoffen ca. 95 % des Fassungsvermögens, so dass sich bei voller Beladung eine Transportmenge von etwa 85 m^3 je Kesselwagen ausgegangen ergibt. Damit lässt sich ausgehend von den Transportvolumina der per Bahnkesselwagen transportierten Ottokraftstoffe im Inlandsabsatz, Ausfuhr und Einfuhr die Anzahl der Be- und Entladevorgänge mit insgesamt ca. 300.000 angeben (Tabelle 6). Die sich rechnerisch ergebenden Zahlen wurden nach oben gerundet, da eine tendenziell höhere Umschlagzahl aufgrund von nur teilweiser Beladung in der Rechnung vernachlässigt wurde.

Tabelle 6 Be- und Entladevorgänge in Deutschland beim Transport von Ottokraftstoffen per Eisenbahnkesselwagen

Umschlagvorgang	Berechnung	Anzahl
Beladevorgänge Binnenverkehr	128.235	
Beladevorgänge Ausfuhr	12.941	
Beladevorgänge		~ 150.000
Entladevorgänge Binnenverkehr	128.235	
Entladevorgänge Einfuhr	15.294	
Entladevorgänge		~ 150.000
Summe Be- und Entladevorgänge		~ 300.000

Als Transportentfernung für Mineralölprodukte in Bahnkesselwagen werden durchschnittlich 300 km angegeben (siehe Abbildung 6). Aus einer detaillierten Aufstellung der DB Cargo AG ergibt sich für die Gütergruppe 321 eine mittlere Transportentfernung von 200 km, wobei die Entfernung weitgehend unabhängig von der Art des Transports (Binnenverkehr, Ausfuhr, Einfuhr) ist (Tabelle 7). Es wird daher im weiteren von einer durchschnittlichen Transportentfernung von Ottokraftstoffen von 200 km ausgegangen.

Tabelle 7: Transportentfernungen für Motorenbenzin per Kesselwagen [DB Cargo 2002]

	Inlands- absatz / Binnen- verkehr	Ausfuhr	Einfuhr	Gesamt
Transportmenge [kt]	~ 5.200	~600	40	~5.800
Transportumfang [1000 tkm]	~1.000.000	~140.000	~8.000	~1.200.000
Durchschnittliche Transportentfernung (Transportumfang / Transportmenge)	~200	~200	~200	~200

Die Dauer eines Transports variiert unabhängig von der Transportentfernung sehr stark, da der Verbleib der Ottokraftstoffe in den Kesselwagen nach Aussagen der Arbeitskreismitglieder weniger von der Entfernung als vielmehr durch Standzeiten bedingt ist. Aus dem Bestand von 5.000 – 6.000 Kesselwagen für den Transport von Ottokraftstoffen mit jeweils 85 m³ Ladekapazität und dem Transportvolumen von ca. 13 Mio. m³ lassen sich die Beladungen je Kesselwagen und Jahr mit knapp 30 Beladungen ermitteln.

Dieser Wert wird durch die Angaben von Kesselwagenbetreibern bestätigt. Hierbei bleibt unberücksichtigt, in wie weit die eingesetzten Kesselwagen für weitere Mineralölprodukte (z. B. Diesel) im Wechsel genutzt werden.

Zukünftige Entwicklungen

Grundlage der Betrachtung der zukünftigen Entwicklungen im Bereich der Bahntransporte von Ottokraftstoffen ist zunächst die Prognose der Verbrauchszahlen. Wie der gesamte Mineralölverbrauch wird auch der Verbrauch von Ottokraftstoffen durch die gegenwärtig schwache Konjunktur beeinflusst. So wird allein für 2003 ein Rückgang von 5 % angenommen. Auch zukünftig wird ein rückläufiger Ottokraftstoffverbrauch erwartet, auch wenn Mineralölkraftstoffe auf absehbare Zeit die dominierende Rolle im Kraftstoffmarkt spielen werden. So wird seitens der Mineralölwirtschaft ein Rückgang des Inlandverbrauchs an Ottokraftstoffen von 27,2 Millionen Tonnen im Jahr 2002 [MWV 2003] auf etwa 23 Millionen Tonnen im Jahr 2010 und 16,7 Millionen Tonnen bis zum Jahr 2020 prognostiziert, d. h. um 15 % bis 2010 und insgesamt 40 % über die nächsten 20 Jahre [MWV 2003a]. Ursachen hierfür sind ein allmählicher Rückgang des Bestandes an ottokraftstoffbetriebenen PKW, vornehmlich wegen Substitution durch Dieselfahrzeuge, eine abnehmende Jahresfahrleistung sowie der Einsatz von Neufahrzeugen mit geringerem spezifischen Verbrauch. So wird erwartet, dass der Flottenverbrauch für PKWs in Deutschland langfristig um etwa 30 % sinkt. Der Rückgang des Ottokraftstoffkonsums könnte sich noch beschleunigen, wenn sich alternative Antriebe und Kraftstoffe auch durch stützende politische Maßnahmen stärker durchsetzen sollten [MWV 2003a].

Dementsprechend ist von einem im selben Maß abnehmenden Transportvolumen auszugehen. Dabei wird von einem bis 2010 konstanten Anteil an Bahntransporten am Gesamttransport ausgegangen. Unter der Voraussetzung, dass das Verhältnis von Inlandsverkehr, Im- und Export unverändert bleibt, beläuft sich die Transportmenge an Ottokraftstoffen per Eisenbahnkesselwagen im Jahr 2010 auf etwa 8,5 Millionen Tonnen bzw. 11 Millionen Kubikmeter. Die Zahl der Be- und Entladevorgänge würde sich entsprechend auf ca. 255.000 verringern.

Tabelle 8 beinhaltet aktuelle und prognostizierte Verbrauchszahlen für Ottokraftstoffe in Deutschland und die korrelierenden Transportmengen, –volumina, sowie Be- und Entladevorgänge.

Tabelle 8: Verbrauch von Ottokraftstoffen und Zahl der Be- und Entladevorgänge, Ist und Prognose 2010 [MWV 2003, MWV 2003a]

	2002	2010 (85 %)
Marktvolumen Ottokraftstoffe (Summe Inlandsabsatz, Ausfuhr, Einfuhr) [kt] ⁽¹⁾	37.080	~ 31.500
Transportmenge von Ottokraftstoffen per Bahn [kt]	~ 10.000	~ 8.500
Transportvolumen von Ottokraftstoffen per Bahn [1000 m ³] ^{*)}	~ 13.000	~ 11.000
Anzahl Be- und Entladevorgänge	~ 300.000	~ 255.000

^{*)} Bei einer durchschnittlichen Dichte von 0,75 g/cm³.

Insgesamt wird in Westeuropa mit einem stagnierenden bzw. schrumpfenden Ölverbrauch gerechnet. Die Eröffnung eines weiteren Raffineriestandorts in Deutschland ist daher unwahrscheinlich [MWV 1999]. Auch ein Neubau von Tanklagern ist für die Zukunft nicht zu erwarten, es muss im Gegenteil von einer weiter sinkenden Zahl an Tanklagern ausgegangen werden [MWV 1999a]. Aufgrund dieser Entwicklungen zeichnet sich eine langfristige Zunahme der mittleren Transportentfernung für Mineralölprodukte und somit auch für Ottokraftstoffe ab.

5 Emissionssituation: Ist-Werte und business-as-usual Prognose

Die Dampfphase von Ottokraftstoffen weist eine andere Zusammensetzung als die Flüssigphase auf. Die Konzentrationsverhältnisse hängen von der Verweilzeit und der Verdampfungsgeschwindigkeit ab. Die Sättigungskonzentration im Gleichgewichtszustand wird erst nach längerer Zeit in Abhängigkeit von Befüllgrad, Witterungsbedingungen etc. erreicht. Die durchschnittliche Zusammensetzung der Emissionen aus Ottokraftstoffen kann Tabelle 9 entnommen werden.

Tabelle 9: Zusammensetzung von Ottokraftstoffen in der Flüssigphase und der Gasphase des Luft/Kraftstoffgemisches im Tank [VDI 2440, 2000].

Komponenten		Ottokraftstoff (Sommerqualität/Super)	
		Mittelwerte	Bereich
Kohlenwasserstoffverteilung in der Gasphase *) In Gew. %	Aliphaten		
	<C ₄	<1	<1
	C ₄	21	10 bis 30
	C ₅	50	44 bis 66
	C ₆	20	10 bis 27
	>C ₆	8	6 bis 9
	Aromaten		
	Benzol	<1	<1
	Toluol	3	2 bis 3
	MTBE	1	0 bis 3
	>C ₇	1	1 bis 2
Flüssigphase In Gew. %	Aliphaten		
	<C ₄	<1	<1
	C ₄	2	1 bis 3
	C ₅	17	14 bis 19
	C ₆	18	17 bis 20
	C ₇	21	17 bis 25
		22	21 bis 23
		11	10 bis 14
		6	5 bis 8
	Aromaten		
	Benzol	<1	<1
	Toluol	13	bis 15
	MTBE	2	0 bis 4
	>C ₇	24	19 bis 29
*) ca. 40 Vol. % Kohlenwasserstoffe bei Raumtemperatur in der Gasphase			

Beim Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen mittels Eisenbahn-Kesselwagen sind folgende grundsätzliche Vorgänge auf Emissionsrelevanz zu untersuchen:

- Emissionen beim Beladen (durch verdrängtes Gas beim Befüllen sowie Tropfmengen aus Be- und Entladevorrichtung, Ventilen, Flanschen etc.);
- Emissionen während des Transports (z.B. Tankatmung);
- Emissionen beim Entladen (durch Tropfmengen aus Be- und Entladevorrichtung, Ventilen, Flanschen etc.); und
- Emissionen bei der Tankinnenreinigung (notwendig bei wechselnden Produkten ohne Kompatibilität sowie vor Reparaturarbeiten und Inspektionen)

Zur Beurteilung der Emissionen durch Umschlagvorgänge, also beim Ein- und Auslagern, muss das Gesamtsystem Kesselwagen / Lagertank betrachtet werden. Nach § 4 der 20. BImSchV müssen Anlagen für die Lagerung oder Umfüllung von Ottokraftstoffen so errichtet und betrieben werden, dass die bei der Beladung eines Lagertanks oder beweglichen Tanks (z. B. Kesselwagen) verdrängten Dämpfe erfasst und entweder einer Abgasreinigungsanlage mit einer Reingaskonzentration von maximal $0,15 \text{ g/m}^3$ bei einem Massenstrom von 3 kg/Stunde und mehr, oder bei weniger als 3 kg von maximal 5 g/m^3 , oder sie müssen einem Gaspendelsystem zugeführt werden.

Hinsichtlich der Ausführung der Lagertanks sind Festdachtanks und Schwimmdachtanks zu unterscheiden. Festdachtanks sind stehende zylindrische Behältnisse mit Flachboden und Flach- oder kegelförmigen Dächern. Es existieren Baugrößen bis zu 65.000 m^3 . Sie müssen zum Druckausgleich über Be- und Entlüftungsvorrichtungen verfügen. Bei Festdachtanks für die Lagerung von Ottokraftstoffen sind Vakuum-Druckventile Stand der Technik. Durch diese Ventile soll der Gasraum des Tanks bei einer Änderung des Dampfdruckes durch Temperaturänderungen oder Luftdruckschwankungen bis zum Erreichen eines technisch zulässigen Unter- bzw. Überdruckes abgedichtet werden [VDI 2002]. Beim Einlagern wird der Ansprechdruck des Ventils überschritten und das verdrängte Gas einer Gaspendeleinrichtung zugeführt. Bei der Auslagerung wird das verdrängte Gas aus dem Kesselwagen dem Festdachtank zum Volumenausgleich zugeführt.

Schwimmdachtanks sind nach oben offene, zylindrische Behältnisse, die zur Atmosphäre durch ein Schwimmdach abgedichtet sind. Derzeit sind Baugrößen für Schwimmdachtanks bis 110.000 m^3 bekannt. Die Schwimmdächer sind bewegliche Stahlkonstruktionen, bei denen der Ringspalt zwischen Wandung und Schwimmdach über Dichtungen abgedichtet wird. Bei der Befüllung wird das Schwimmdach vom Flüssigkeitsspiegel angehoben, bei Entleerungen abgesenkt. Ein Volumenausgleich ist damit nicht erforderlich. Emissionen resultieren im Wesentlichen aus der der Wandung anhaftenden, verdunstenden Flüssigkeit. Bei Schwimmdachtanks ist eine Rückführung der Dämpfe nicht möglich. Da das Gaspendelverfahren an den Verladeeinrichtungen damit entfällt, müssen an den Füllstationen

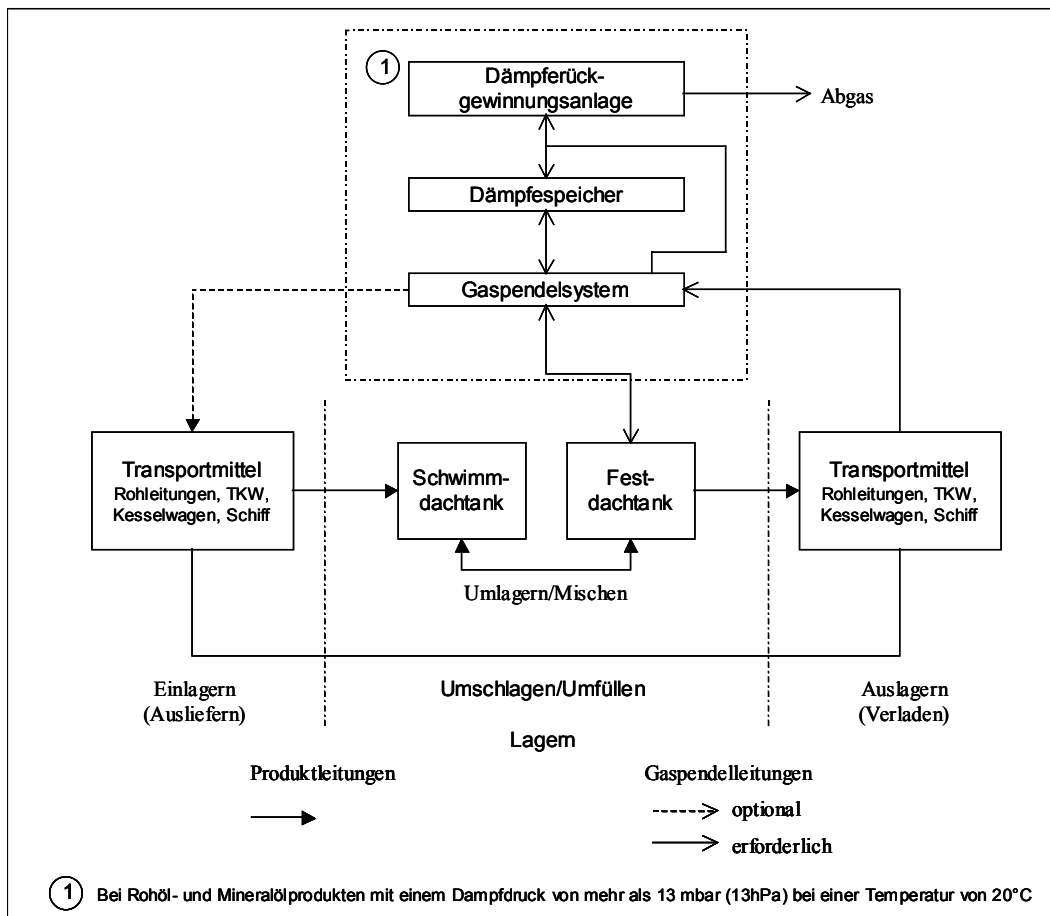
Abgasreinigungsverfahren („Dämpferückgewinnungsanlagen“) installiert werden, um die Abluft aus dem befüllten Kesselwagen zu behandeln.

Moderne, raffineriefern Tanklager für Ottokraftstoffe sind in aller Regel als Festdachtanks ausgeführt und verfügen über Einrichtungen zur Gaspendelung und/oder Abgasreinigung (Tabelle 10). Die Anlagenausstattung ist schematisch in Abbildung 8 dargestellt.

Tabelle 10: Ausstattung von Tanklagern zur Lagerung von Produkten der Gefahrenklasse A I [VDI 3479, 2002]

Lagerkapazität [t]	Umschlag [m³/a]	Farbanstrich)	Tankauführung		Anforderung an Festdachtanks		
			Festdach-tank	Schwimm-dachtank	Vakuum/ Druckventile)	Gaspendelung und/oder Abgasreinigung	Schwimm-decke
<5000		+	+	-	+	+	-^)
≥5000	<10000	+	+	○	+	+	-^)
	≥10000	+	+	○	+	+	-^)
<p>+ = üblich ○ = möglich - = nicht üblich</p> <p>*) Reflektion der Strahlungswärme mindestens 70%</p> <p>**) Betriebsdruck -10/+20 mbar (-10/+20 hPa): Ventilansprechdruck -7/+14 mbar (-7/+14 hPa)</p> <p>^*) Die Ausrüstung mit einer innenliegenden Schwimmdecke wird nur noch in Ausnahmefällen (zum Beispiel bei Anbindung an eine Mineralölförnerleitung) vorgefunden</p>							

Abbildung 8: Ausstattung moderner raffineriefern Tanklager [VDI 3479, 2002]



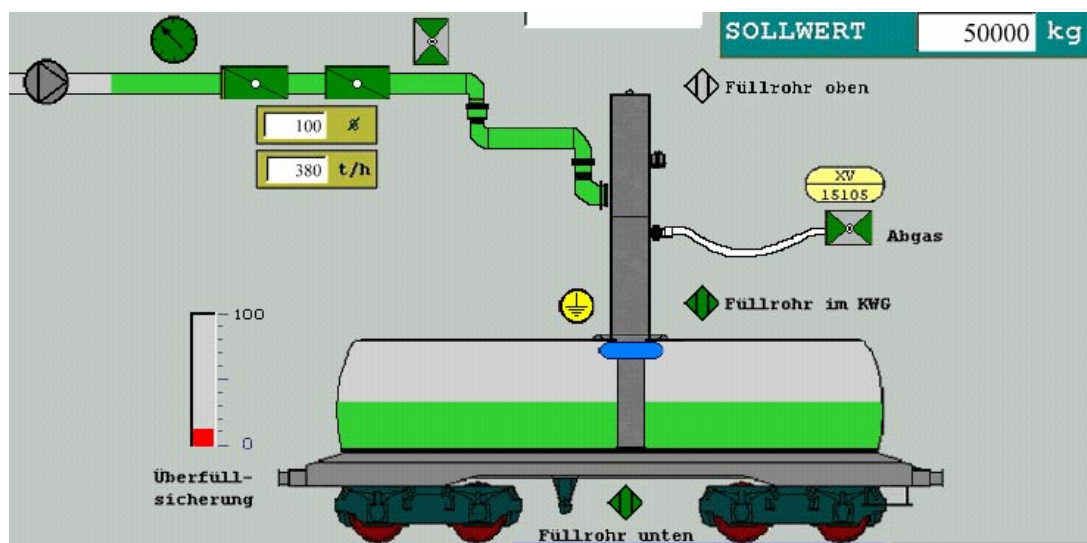
Beim Umschlag werden bei Einzelkesselwagen 30 – 90 m³ sowie bei Ganzzügen ca. 1750 m³ umgeschlagen. Die Pumpraten betragen dabei beim Einlagern 250 bis 700 m³/h, beim Auslagern 120 bis 700 m³/h [VDI 2002].

Emissionen beim Beladen

Das Beladen der Kesselwagen erfolgt über Füllstellen mittels Obenbefüllung und Unterspiegelbefüllung, bei der der Verladearm über den Dom des Kesselwagens bis auf den Boden des Tankabteils eingeführt wird. Hierdurch wird das Versprühen des Kraftstoffes vermieden und der Kohlenwasserstoffgehalt der verdrängten Luft bleibt unterhalb der Sättigungskonzentration.

In die Befülleinrichtung ist ein Gasrückgewinnungssystem integriert. Dabei wird ein Schutzrohr mittels eines aufblasbaren Kissens am Kesselwagendom abgedichtet. Über ein inneres Befüllrohr wird der Kesselwagen befüllt, während im Gegenzug die Abgase über das Schutzrohr und einen Gasschlauch abgesaugt und einer Dämpferückgewinnung zugeführt werden. Abbildung 9 zeigt das Prinzip der installierten Systeme.

Abbildung 9: Differenzierung der verschiedenen technischen Ausstattungsmerkmale der Kesselwagen – Überfüllsicherung und Unterspiegel-Befüllung [Scherzer 2003]



Emissionen beim Beladen von Kesselwagen setzen sich aus Verdunstungsverlusten der Dämpfe des vorherigen Kesselinhaltes vor und während der Befüllung sowie aus Tropfmengen von Flanschen und Kupplungen zusammen. Das Austreten von Nachleckmengen aus dem Füllrohr wird dabei im allgemeinen durch ein Mantelrohr verhindert, das beim Hochfahren des Füllrohres die Füllöffnungen automatisch verschließt.

Vor dem eigentlichen Befüllvorgang wird der Domdeckel des Kesselwagens geöffnet. Bis zum Zeitpunkt des Abdichtens über das aufblasbare Kissen des Füllarms können Emissionen auftreten. Die Höhe der Emissionen sind von der im entleerten Kesselwagen vorhandenen Restmenge an Ottokraftstoff, von Druck, Temperatur und der Dauer des Vorgangs zwischen Öffnen des Deckels und eigentlicher Befüllung abhängig. In dieser Phase können die tatsächlichen Emissionen im wesentlichen durch folgende Effekte verursacht werden:

- (a) durch den Transport eines Teils des Gasvolumens aus dem Tankinnenraum in die Umgebung unmittelbar nach dem Öffnen des Mannlochs aufgrund von Druckdifferenzen die durch Temperaturunterschiede zwischen der letzten Entladung und dem Befüllvorgang entstehen
- (b) durch Verdunstung von VOC aus der flüssigen Restmenge
- (c) durch Diffusion von VOC durch das Mannloch entlang des Konzentrationsgradienten Tankinnenraum – Umgebungsluft
- (d) durch Gasaustausch zwischen Tankinnenraum und Umgebung aufgrund von Luftbewegungen und Verwirbelungen am Mannloch

Für die Abschätzung der Emission aufgrund dieser Effekte in der Phase des Befüllvorgangs wurden folgende Überlegungen und Berechnung angesetzt. Dabei wird von ca. 150.000 Beladevorgängen (s. Tabelle 6) ausgegangen:

- Nach dem Entladen verbleibt eine durchschnittliche Restmenge von ca. 10 l im Tank
- Das Gas im Eisenbahnkesselwagen ist vor dem Öffnen des Mannlochs mit Dämpfen des Ladegutes angereichert. Aufgrund von Messergebnissen bei Schiffen kann von einer realistischen durchschnittlichen Beladung von etwa 1 kg VOC je m³ ausgegangen werden [UBA FB 200 44 321 2001, Seiten 17, 64].
- zu (a): Die durchschnittliche Temperaturdifferenz von Kesselwagen zwischen Entlade- und Beladevorgang beträgt ~ 5°C. Daraus resultiert nach Clausius-Clapeyron eine Druckdifferenz von etwa 0,2 bar. Geht man in 50 % der Fälle von einer durchschnittlichen Temperaturerhöhung von 5 °C und folglich einem Überdruck von 0,2 bar aus, so entweichen bei jedem zweiten Beladevorgang nach dem Öffnen des Mannlochs ca. 14,6 m³ aus dem Tank. Das entspricht einer Menge von ca. 15 kg VOC je Beladungsvorgang (14,6 m³ · 1 kg/m³). Bei insgesamt ca. 150.000 Beladevorgängen (→ 75.000 Beladungen bei Überdruck) resultiert eine Emissionsmenge von etwa 1,1 kt aufgrund von Effekt (a).
- zu (b): Für Ottokraftstoffe bei 20°C sind Dichten zwischen 0,63 und 0,83 g/cm³ ermittelt worden, Bei einer durchschnittlichen Dichte 0,75 g/cm³ ergibt sich für Ottokraftstoff mit der Verdunstungszahl 8 eine Verdunstungsgeschwindigkeit von etwa 0,5 kg/hm². Bei einer abgeschätzten Flüssigkeitsoberfläche von 1 m² verdunsten also in einer Stunde 0,5 kg Kraftstoff. Die Taktzeit beim Befüllen beträgt ca. 15 Minuten, während der der folgende Wagen mit geöffnetem Domdeckel bereit steht. Verdunstungsvorgänge innerhalb dieser 15-minütigen Wartezeit vor dem Beladen sind also mit jährlichen Maximalmissionen von 150.000 · 0,125 kg = 18,75 t (0,02 kt) verbunden.
- zu (c): Setzt man voraus, dass die VOC-Konzentration im Kessel 1 kg/m³ beträgt und bis zu einem Punkt in 10 cm Abstand zum Mannloch auf 0 sinkt, besteht beim Öffnen des Mannlochs ein Konzentrationsgefälle von 10 kg/m⁴. Hierdurch entsteht für einen repräsentativen Kohlenwasserstoff wie n-Heptan gemäß dem 1. Fick'schen Gesetz ein Stofffluss von maximal 0,132 kg/m²h. Durch ein 0,2 m² großes Mannloch können pro Befüllvorgang ca. 0,007 kg entweichen. Das entspricht einer jährlichen Emission von etwa 1 t (0,001 kt) aufgrund von Effekt (c).
- zu (d): Die Mengen die aus (d) resultieren sind schwer zu quantifizieren und in Abhängigkeit von den jeweiligen Windverhältnissen stark unterschiedlich. Unter normalen Wetterbedingungen ist von nur unwesentlichen Emissionen auszugehen.

Wesentlicher Einflussfaktor für die durchschnittliche Höhe der VOC-Emissionen ist offensichtlich Effekt (a). Insgesamt ergibt sich aus diesen Überlegungen aus den Befüllvorgängen eine Emissionsmenge von < 1,2 kt/a.

Nach Aussagen des Arbeitskreises wird bei der Dämpferückgewinnung der vorgeschriebene Emissionsgrenzwert aus der 20. BImSchV von 150 mg/m^3 eingehalten. Für die Bestimmung der maximalen Emission aus der Dämpferückgewinnung wurde daher folgende Berechnung angesetzt:

$$150 \text{ mg/m}^3 \cdot 90 \text{ m}^3 \cdot 150.000 \approx 0,002 \text{ kt}$$

Aus Literaturangaben lassen sich Emissionen von ca. 0,8 kt durch Befüllvorgänge ableiten [EEA 2002]. Dabei werden sowohl Tropfverluste als auch die Restemissionen von Dämpferückgewinnungsanlagen berücksichtigt. Im Sinne einer worst-case Betrachtung wird von dem höheren, oben ermittelten Wert ausgegangen.

Emissionen während des Transports

Nach der Richtlinie 94/63/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Begrenzung der VOC-Emissionen bei der Lagerung von Ottokraftstoffen und seiner Verteilung von den Auslieferungslagern bis zu den Tankstellen sowie der 20. BImSchV sind Kesselwagen für den Transport von Ottokraftstoffen so zu betreiben, dass mit Ausnahme des Ablassens über Druckventile, Restdämpfe nach der Entleerung im Behälter zurückgehalten werden, bis der Kessel in einem Auslieferungslager erneut befüllt wird.

Moderne Kesselwagen sind für einen Betriebsdruck von 3 bar ausgelegt, der Prüfdruck beträgt 4 bar und der Berechnungsdruck 10 bar. Sie benötigen damit kein Sicherheitsventil für Überdruck. Ältere Kesselwagen verfügen über Überdrucksicherungsventile, die bei einem Überdruck von mehr als 1,5 bar öffnen. Ein Zwangsbelüftungsventil dient zugleich als Unterdrucksicherungsventil, das bei 0,21 bar bzw. 0,4 bar Unterdruck öffnet. Solche Druckverhältnisse treten während des Transports praktisch nicht auf. Das Zwangsbelüftungsventil ist nur während der Entleerung geöffnet.

Beim Transport treten Druckschwankungen auf, und Undichtigkeiten an den Ein- und Auslassöffnungen der Kesselwagen (Sicherheitsventile, Domdeckel, Entleerungsventile, etc.) können daher zu VOC Emissionen führen. Die Inspektion von Kesselwagen mit einer Überprüfung und ggf. Ersetzung der vorhandenen Dichtungen erfolgt alle 4 Jahre.

Während des Transportes gelten Kesselwagen daher als luftdicht verschlossen und „Atmungsverluste“ während des Transports sind bei Kesselwagen zu vernachlässigen. Nach Aussagen der Arbeitskreismitglieder verfügen auch ausländische, in Deutschland eingesetzte Kesselwagen über Druckventile und sind als gasdicht anzusehen.

Nach Literaturangaben ist dennoch von einem Verlust von 8 g/t auszugehen [EEA 2002]. Aus diesem theoretischen Wert lässt sich keine eindeutige Quantifizierung ableiten. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die Emissionen beim Transport jedenfalls $< 0,1 \text{ kt/a}$ betragen.

Emissionen beim Entladen

Aus den Kesselwagen werden die Produkte mit stationären Pumpeinrichtungen über Rohr- oder Schlauchleitungen in Tanklager entladen. Die im stationären Tank verdrängten Dämpfe werden üblicherweise in Rückgewinnungsanlagen geleitet. Beim Entladen der Kesselwagen treten keine direkten Emissionen auf [VDI 3479, 2002]. Der Volumenverlust beim Entleeren wird durch Frischluft ausgeglichen, die über die zwangsbetätigten federbelasteten Belüftungsventile einströmt. [VTG 2002].

Neben entweichenden Dämpfen können Emissionen beim Entladen durch Tropfverluste beziehungsweise Restmengen in Leitungsteilen nach dem Absperrventil auftreten. Für die Ermittlung der Emissionen beim Entladen wird entsprechend Tabelle 6 mit ca. 150.000 Entladevorgängen gerechnet. Die maximalen Emissionen bei regulärem Betrieb sind jedenfalls mit $< 0,1$ kt/a eingrenzbar. Eine exakte Quantifizierung ist nicht möglich.

Die bei der Entleerung verbleibenden Restmengen sind aufgrund von Verdampfungsvorgängen eine Quelle für Emissionen bei der Tankinnenreinigung und beim Befüllen von Kesselwagen. Generell müssen nach EN 12561 die Entleereinrichtungen so gestaltet sein, dass in all ihren Bestandteilen möglichst wenig Ladegutrückstände zurück bleiben können. Dennoch bleiben nach Aussagen von Anlagenbetreibern und Kesselwagenbauern in den derzeit betriebenen Kesselwagen Restmengen an Ottokraftstoff zurück. Die Aussagen über den Umfang der Restmengen schwanken zwischen 0 und 30 Litern (in Ausnahmefällen bis zu mehreren 100 Litern) und beziehen sich auf verschiedene Ursachen (z.B. bauartbedingte Restmengen, unterschiedlich lange Ablaufzeiten, Bedienfehler). Die Höhe der Verdampfung der Restmengen hängt im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab [DGKM 1976]:

- Kohlenwasserstoffkonzentration im Gasraum,
- Volumen des Gasraumes,
- durchschnittliche Temperaturschwankung,
- der Zeitspanne bis zur Wiederbefüllung und der
- Farbe des Kessels.

Nach der 20. BImSchV müssen die nach der Entleerung im Kesselwagen verbleibenden Dämpfe mit Ausnahme der Freisetzung über Überdruckventile solange zurückgehalten werden, bis in einem Tanklager eine Wiederbefüllung erfolgt oder die Dämpfe einer Abgasreinigungseinrichtung zugeführt werden. Emissionen entleerter Kesselwagen, die mit federbelasteten Unterdruckventilen ausgestattet sind, können vernachlässigt werden [Arbeitskreis 2002, VDI 2002]. Aufgrund der z. T. beträchtlichen verbleibenden Restmengen beim Entleeren und den langen Standzeiten wird jedoch für die Emissionsermittlung beim

Beladen und bei der Reinigung von einer gesättigten Atmosphäre im Kesselwagen ausgegangen. Dies bedeutet, dass pro Kubikmeter Laderaum von einer Beladung von etwa 1 kg VOC ausgegangen werden muss.

Emissionen bei der Tankinnenreinigung von Kesselwagen

Jährlich erfolgen weniger als 2.500 Reinigungsvorgänge bei Ottokraftstoffkesselwagen (siehe Kapitel 6). Zur Abschätzung der Emissionen wird unterstellt, dass vor bzw. bei der Reinigung ein vollständiger Austausch der Tankatmosphäre stattfindet, d. h. der gasförmige Tankinhalt emittiert vollständig über die Abluft, während evtl. vorhandene flüssige Restmengen vollständig über das Waschwasser ausgetragen werden. Die ggf. erfolgende Nachverdunstung durch Restmengen ist ebenso wie die Auswaschung von Benzindämpfen aus der Atmosphäre beim Reinigungsvorgang nicht quantifizierbar. Da diese beiden Prozesse zudem gegenläufig sind, werden sie hier vereinfacht als vernachlässigbar angenommen.

Zur Berechnung der luftgängigen Emissionen wird in den leeren Tanks von einer gesättigten Atmosphäre mit einem durchschnittlichen VOC-Gehalt von etwa 1 kg/m³ (mittlere Benzindampfkonzentration bei 20 °C [Weyer 1998]) ausgegangen. Danach betragen die ungeminderten VOC-Emissionen aus der Tankinnenreinigung von Ottokraftstoffkesselwagen maximal:

$$2.500 \cdot 1 \text{ kg/m}^3 \cdot 90 \text{ m}^3 = 225 \text{ t}$$

Dieser Wert wird durch den Einsatz von Abgasreinigungsverfahren nochmals reduziert. Dabei wird angenommen, dass die Emissionen unmittelbar beim Öffnen des Mannlochs (siehe Kapitel 5) zunächst ungefasst emittieren und keiner weiteren Reinigung unterliegen. Sie bewegen sich bei 2.500 Reinigungsvorgängen entsprechend der in Kapitel 5 durchgeführten Berechnung bei:

$$2.500 \cdot 14,6 \text{ m}^3 \cdot 1 \text{ kg/m}^3 = 36,5 \text{ t}$$

Als durchgehend vorhandener Mindeststandard zur Abluftreinigung bei der Innenreinigung wird eine einstufige Aktivkohleadsorption angenommen. Damit kann bei einer Ausgangsbeladung von 1 kg/m³ die Abluftkonzentration um 99,5 % auf unter 5 g VOC / m³ gemindert werden (Tabelle 11). Bei einer vollständigen Erfassung der verbleibenden Tankinnenluft ergeben sich die VOC-Emissionen nach Abgasreinigung damit zu:

$$2.500 \cdot (90 \text{ m}^3 - 14,6 \text{ m}^3) \cdot 5 \text{ g/m}^3 \approx 1 \text{ t}$$

Die VOC-Emissionen aus der Tankinnenreinigung von Ottokraftstoffkesselwagen betragen bei 2.500 durchgeführten Reinigungen somit ca. 40 t/a.

Tabelle 11: Emissionswerte für Dämpferückgewinnungs- und Verbrennungsanlagen bei der Verladung von Ottokraftstoffen [VDI 3479, 2002]

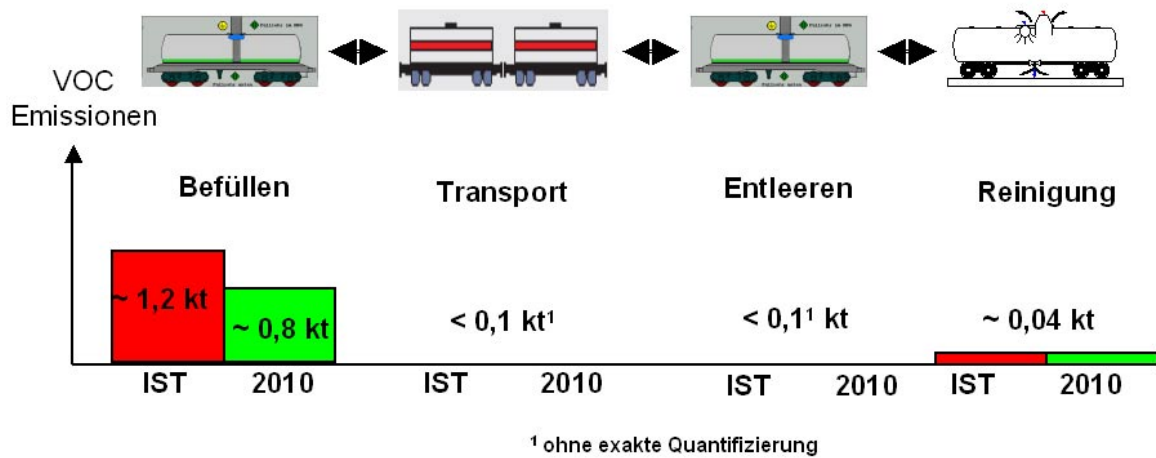
Anlagenart	Wirkungsgrad	Im Dauerbetrieb einhaltbare Halbstundenmittelwerte	
		Kohlenwasserstoffe ohne Methan [g/m³]	Benzol [mg/m³]
Einstufige Kondensation			1
Einstufige Adsorptions-, Absorptions- und Membrantrennanlage	ca. 99,5 %	5	1
Einstufige Adsorptionsanlage mit zusätzlichem Drehkolbengebläse	ca. 99,98 %	0,15 ^{*)}	1
Thermische Nachverbrennungsanlage	ca. 99,98 %	0,05	<1
Zweistufige Anlagen	ca. 99,98 %	0,15 ^{*)}	1
^{*)} Bei den hier relevanten C ₂ /C ₅ -Kohlenwasserstoffen entsprechen 0,15 g/m³ einer Gesamt-C-Konzentration von etwa 0,13 g/m³.			

Das resultierende Abwasser aus der Tankinnenreinigung wird nach entsprechender Vorbehandlung in die Kanalisation eingeleitet. Die Grenzwerte für die Indirekteinleitung für Kohlenwasserstoffe von 20 mg/l bzw. der AOX-Grenzwert von 0,8 mg/l werden für die Fallstudien (siehe Kapitel 6) nach Aussagen der Anlagenbetreiber problemlos eingehalten.

Fazit Emissionen Ist und Business as usual

Aus Ottokraftstoffen, die in Deutschland mittels Eisenbahnkesselwagen transportiert und umgeschlagen werden, entstehen VOC-Emissionen von bis zu 1,4 kt pro Jahr (Abbildung 10). Dies entspricht einem Anteil von etwa 1/40 der aktuellen NMVOC Emissionen aus der Verteilung von Ottokraftstoffen insgesamt, obwohl etwa 1/3 der Transporte von Ottokraftstoffen in Deutschland per Bahn durchgeführt werden.

**Abbildung 10: Gesamtemissionssituation bei Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen:
Ist und Prognose 2010**



Unter Berücksichtigung der bis 2010 prognostizierten Mengenänderungen und unter der Annahme, dass keine zusätzlichen gesetzgebenden Maßnahmen getroffen werden (business as usual), würden die in Abbildung 10 dargestellten maximalen Emissionen resultieren.

6 Stand der Technik für die Tankinnenreinigung sowie die Behandlung und Entsorgung von Waschwässern

Anlagen zur Tankinnenreinigung sind gemäß Nummer 10.21 des Anhangs der 4. BImSchV genehmigungsbedürftig (u.a. Anlagen zur Innenreinigung von Eisenbahnkesselwagen und Straßentankfahrzeugen).

Die Tankinnenreinigung wird vor Reparaturarbeiten, vor Sicherheitsprüfungen (Wasserdruckprüfung des Kessels alle 4 Jahre, Untergestellprüfung), bei einem Produktwechsel oder einem Wechsel des Mieters (Mietwechsel) durchgeführt. Spätestens vier Jahre nach der letzten Wasserdruckprüfung wird der Kessel erneut einer Dichtheitsprüfung sowie einer Funktionsprüfung aller Ausrüstungsgegenstände unterzogen [GFL 2000]. Vor einem Wechsel des Mieters, bei Produktwechsel (z. B. schwefelfreier Diesel nach Diesel) sowie vor Wartungsarbeiten ist ein Gasfreimachen des Tankbehälters und eine nachfolgende Tankinnenreinigung aus Qualitätsgründen notwendig. Bei einem Wechsel von Ottokraftstoffen auf Diesel oder umgekehrt findet hingegen i. A. eine Reinigung nicht statt.

Für jeden Stoff ist ein spezielles Reinigungsprogramm festgelegt. Zur Reinigung wird ein Reinigungskopf auf dem Domdeckel angebracht und die Waschvorgänge durchgeführt. Der Waschkopf besteht aus einer in zwei Ebenen rotierenden Rundstrahldüse. Neben dem Waschwasser werden wässrig, alkalische oder saure Lösungen und bei Bedarf teilweise organische Lösemittel zugeführt. Die Waschlösung wird dabei unter hohem Druck (bis zu 200 bar) in den Kessel eingebracht [GFL 2002]. Anhaftungen, die in den Waschvorgängen nicht entfernt werden konnten, müssen ggf. manuell per Hochdruckbearbeitung entfernt werden, wozu das Reinigungspersonal über das Mannloch in den Kessel steigt.

Nach Aussagen der Arbeitskreismitglieder wird ein Fahrzeug durchschnittlich alle 2 Jahre gereinigt. Bei einem Bestand der in Deutschland eingesetzten Ottokraftstoffkesselwagen von ca. 5.500 werden pro Jahr 2.000 – 2.500 Fahrzeuge gereinigt. Die Lebensdauer eines Kesselwagens kann mit 30 – 40 a angesetzt werden, so dass jeder Ottokraftstoffkesselwagen über die Betriebsdauer durchschnittlich 15 – 20 mal gereinigt wird.

Technische Möglichkeiten der Tankinnenreinigung und ökologische Konsequenzen

Ottokraftstoffkesselwagen sind in der Regel vierachsig mit einem mittleren Fassungsvermögen von 90 m³ und haben eine Wand aus Normalstahl. Der Verschmutzungsgrad der Kesselwagen wird mit Hilfe des UIP-Reinheitsschlüssels (Union Internationale des Wagons Privés, Internationale Privatgüterwagen-Union) beschrieben (Tabelle 12). Dieser gibt mit Hilfe eines Zahlencodes an, welchen Reinheitsgrad der Wagen nach der Reinigung aufzuweisen hat. Ein typischer Standardschlüssel für den geforderten Sauberkeitsgrad von Ottokraftstoffkesselwagen z. B. vor Reparaturen ist 1.3.1: Das Material (Stahl, 1. Ziffer) darf noch Rostansatz und losen Rost aufweisen (2. Ziffer), es sind keine Ottokraftstoffrückstände mehr vorhanden, der Wagen ist trocken, weist jedoch noch Geruch auf (3. Ziffer). Ein typischer angelieferter Wagen fällt dagegen unter Ziffer 1.6.2: Der Stahloberfläche haften

Blattrost und Rostnarben an, es sind keine Ottokraftstoffrückstände mehr im Wagen und er ist trocken, dem Wagen haftet jedoch der typische Geruch an. Die Beurteilung der geforderten Sauberkeit erfolgt dabei subjektiv durch den Reiniger.

Die Vorgehensweise bei der Tankinnenreinigung von Mineralölkesselwagen für den Transport von Kraftstoffen wurde im Rahmen zweier Fallstudien untersucht. Dabei kommen lösemittelfreie Verfahren unter Verwendung von Wasser und alkalischen Reinigungsmitteln zum Einsatz. Das entstehende Waschwasser wird gesammelt und den jeweiligen Abwasserbehandlungsverfahren zugeführt. Dabei wird die normale Reinigung für einen Ottokraftstoffkesselwagen beschrieben, der ausgehend vom Verschmutzungsgrad 1.6.2 nach der Reinigung 1.3.1 aufweisen soll. Bei anderen Anwendungen kommen verschiedene weitere, auch sehr spezielle Waschverfahren zum Einsatz. So führt z.B. der Transport von Methanol zur Schwarzfärbung der Wagen, die dann mit Salzsäure gereinigt werden müssen.

Tabelle 12: UIP-Reinheitsschlüssel [UIP 2003]

1. Ziffer Material	2. Ziffer Beschreibung der Oberfläche										3. Ziffer Kennzeichnung der Lagerdruckstände	4. Ziffer Zustand
1. Stahl (unlegiert)	1										0 Keine Rückstände, geruchsneutral, getrocknet	1 Luft 2 Stickstoff 3 Andere Spezifikation
	sauber, ohne Rost	2	sauber, Flugrost	3	Rostan-satz und loser Rost (Mehl)	4	Mehl und leichte Verfärbungen	5	Mehl und fester Rost, starke Verfärbungen	6	Blattrost, Rostnarben	
2. CrNi-Stahl 3. CrNiMo-Stahl 8. Aluminium	metallisch sauber		metallisch sauber, leichte Schattierungen		metallisch matt, lade-gutbedingte Verfärbungen		korrosionsbedingte Aufrauungen		korrosionsbedingte Aufrauungen und Verfärbungen		lokale Korrosion	
4. Auskleidung aus Weich- oder Hartgummi auf Kautschukbasis oder vergleichbare Polymerqualitäten 5. Auskleidung aus Emaille 6. Auskleidung aus Blei 7. Beschichtungen	sauber, Oberfläche geschlossen		Oberfläche geschlossen		Oberfläche nicht geschlossen, Blasen, Ablösungen, Unterrostungen							
											7 Rückstände bis 2°/oo	
											8 Rückstände über 2°/oo	
											9 Sondervereinbarungen	

Fallstudie Firma Kaminski

Die Tankinnenreinigung von Mineralölkesselwagen wird zunächst anhand des bei der Firma Franz Kaminski Waggonbau GmbH (www.kaminski-hamel.de) in Hameln, Niedersachsen, angewendeten Verfahrens beschrieben. Das Unternehmen betreibt eine moderne, sehr abwasserarme Waschanlage mit Abluftreinigung, in der neben Chemiefahrzeugen auch Mineralölkesselwagen gereinigt werden. In dem Betrieb können vier vierachsige Fahrzeuge oder zwei sechsachsige Fahrzeuge gleichzeitig bearbeitet werden.

Bei der Reinigung stehen die Fahrzeuge in einer Stahlwanne, die dem vollständigen Auffangen des Waschwassers dient. Entsprechend dem Füllgut des Kesselwagens kommen unterschiedliche Reinigungsprogramme zur Anwendung. Die Festlegung der Reinigung erfolgt mit Hilfe einer Software anhand der Fahrzeugdaten, Produkteigenschaften, vorgeschriebenen Sicherheitsmaßnahmen sowie der Anforderungen an den zu erreichenden Reinheitsgrad.

Am zu reinigenden Fahrzeug wird zunächst der Domdeckel geöffnet und die Angaben der Datenblätter mit dem Zustand des Fahrzeuges überprüft. Die Restmenge an Flüssigkeit, die in Abhängigkeit der Kesselwagenbauart ca. 20 – 30 Liter, in Ausnahmefällen bis zu 100 Liter beträgt, wird dann über die Bodenventile des Kesselwagens abgelassen und in Eimern oder Wannen aufgefangen. Da der Kraftstoff durch Rost und Ablagerungen verunreinigt ist, ist nur eine Entsorgung möglich. Weiterhin wird die im Kessel enthaltene beladene Gasphase abgesaugt.

Über den Dom wird dann der Waschkopf in den Kessel eingebracht und mittels Pressluftkissen gegen den Austritt von Gasen abgedichtet. Die ersten hundert Liter erwärmten Waschwassers werden zunächst separat aufgefangen. Nach der Vorreinigung erfolgt mit dem Waschkopf der Hauptreinigungsgang mit ca. 2 – 4 m³ erwärmten Brauchwasser bei einem Betriebsdruck von ca. 10 bar. Dem Brauchwasser ist mit ca. 3 % eines alkalischen Waschmittels versetzt.

Nach der Reinigung wird der Kessel etwa 5 Minuten gelüftet und der Rost manuell vom Kesselboden entfernt (Atemschutz durch Fremdluft) und die Restbeladung der Luft im Kessel zur Überprüfung der Reinigung gemessen. Eine nachfolgende Reinigung mit Trinkwasser erfolgt bei Mineralölfahrzeugen im allgemeinen nicht.

Zur Trocknung des Kessels wird eine Belüftung mit Hallenluft durchgeführt. Die Abluft wird dabei über den Domschacht abgesaugt und einer Abluftreinigung (Tieftemperatur-Kondensation mit nachgeschalteter Absorption) zugeführt.

Abluftreinigung

Während des gesamten Reinigungsvorganges wird die Luft vom Hallenboden und über den Brauchwasserkanälen und Abscheidebehälter abgesaugt und der Abluftreinigungsanlage zugeführt. Diffuse VOC-Emissionen aus der Halle in die Umwelt, können damit fast vollständig vermieden werden. Die Abluftbehandlung besteht aus einer Tiefkühlkondensationsanlage mit nachfolgender Absorption (an Wasser mit Zugabe von H_2O_2). Die Beladung des Reingases wird auf deutlich weniger als 10 mg C/m^3 verringert. Angaben über den Abluftvolumenstrom liegen nicht vor.

Fallstudie bei der Firma R.B.S.

Als weitere Fallstudie wurde die Tankinnenreinigung von Mineralölkesselwagen bei der Firma R.B.S. Kirchweyhe Reinigen Beschichten Strahlen GmbH in Kirchweyhe (<http://www.rbs-kirchweyhe.de>) untersucht. Das Unternehmen gehört zur Eckelmann Gruppe und betreibt eine Anlage zur Reinigung, Beschichtung und Tankinnenkonservierung von Kesselwagen und Containern. Weiterhin werden anfallende Reparaturen sowie in Einzelfällen Spezialreinigungen bei LKWs durchgeführt. Am Standort sind etwa 20 Mitarbeiter beschäftigt. Die Firma ist gemäß DIN EN ISO 9001 (seit 1993) und 14001 (seit 1996) zertifiziert.

Die Firmensitz ist in einem alten Reichsbahn-Lokschuppen mit über 20 separaten Stellräumen. Die Kesselwagenreinigung wird in zwei der überdachten Schuppen durchgeführt, in denen jeweils ein Sprühkopf montiert ist. Die Reinigungskapazität der Anlage beträgt 4.000 - 5.000 Kesselwagen pro Jahr.

Bei R.B.S. werden in- und ausländische Kesselwagen für die verschiedensten Produkte gereinigt, während für die Durchführung von Reparaturen die Einstellung der Wagen bei der Deutschen Bahn als zuständigem Eisenbahnverkehrsunternehmen Voraussetzung ist. Angaben über einen ggf. von den deutschen Normen abweichenden Qualitätsstandard ausländischer Kesselwagen konnten jedoch nicht getroffen werden. Laut R.B.S. ist dies höchstens für Spezialwagen relevant; Standardwagen, wie sie auch für Ottokraftstofftransporte Verwendung finden, weisen seit Jahren einen einheitlichen technischen Stand auf.

Je nach Füllgut (Produkteigenschaften und daraus resultierende Sicherheitsmaßnahmen) sowie dem zu erreichenden Reinheitsgrad werden die Anforderungen für die Reinigung festgelegt. Viele Reinigungsvorgänge bei schwerer flüchtigen und unkritischen Stoffen, z.B. bei Diesel, werden dabei rein manuell durchgeführt, da die Reinigung mit Sprühkopf zu aufwändig wäre. Die Reinigung erfolgt hier manuell im Freien und lediglich mit normalem Schutzanzug und Atemschutz durch Fremdluft. Die Reinigung von Ottokraftstoffkesselwagen bei R.B.S. ist insgesamt von geringer Bedeutung. Von den im Jahr 2002 knapp 2.200 gereinigten Kesselwagen wurden nur 20 für den Transport von Ottokraftstoff genutzt.

Reinigung

Der entleerte Kesselwagen wird in einen der Reinigungsschuppen gefahren. Während des Reinigungsvorgangs ist die Zugangstür verschlossen und es erfolgt eine Zwangsentlüftung der Halle, so dass diese unter leichtem Unterdruck steht. Die Hallenluft wird über Aktivkohlefilter abgesaugt und in die Umgebung abgegeben.

Ist eine Restentleerung erforderlich, erfolgt diese mittels Unterdruck über einen Zwischenbehälter in einen Abwassertank; die gesammelten Flüssigkeiten werden entsorgt. Über die luftdichten Ableitungen wird gleichzeitig der Wageninnenraum entlüftet. Die Abluft des Zwischenbehälters sowie des Abwassertanks werden über einen Aktivkohlefilter geleitet und dann an die Umgebung abgegeben.

Aufgrund des hohen Dampfdrucks von Ottokraftstoff enthalten Ottokraftstoffwagen laut Aussage der Firma jedoch nur im Ausnahmefall (sehr kalte Außentemperatur) flüssige Rückstände. In der Regel kann von einer vollständigen Verdunstung des Ottokraftstoffs in die Kesselwagenatmosphäre ausgegangen werden, wobei ein geringer Anteil auch in die Stahlwand des Wagens bzw. die Rostanhaftungen diffundiert.

Der Deckel wird geöffnet und der Spülkopf aufgesetzt. Dieser schließt mit einer Gummidichtung luftdicht ab. Die entweichende Wageninnenluft strömt ungefasst in die Halle. Mit Hilfe des rotierenden Spülkopfes wird der Wagen mit kaltem Wasser und leicht-alkalischem Reiniger mit einem Sprühdruck von etwa 15 bar gereinigt. Dies ist ausreichend, um auch die entfernten Wände des Wagens zu berieseln. Der Wasserverbrauch je Wäsche beträgt 0,5 – 1 m³. Das Waschwasser läuft über die Bodenventile ab. Die Fahrzeuge stehen dabei auf einer Stahl-Bodenplatte, die dem vollständigen Auffangen des Waschwassers dient.

Nach der Reinigung wird der Wagen getrocknet, indem Heißluft in die Deckelöffnung in den Wagen geleitet wird. Die Luft entweicht dabei über die offene Deckel- sowie die Ventilöffnungen in die Halle. Der trockene Wagen wird anschließend von innen inspiziert und eventuell vorhandener loser Rost manuell abgestrahlt. Die Strahlrückstände werden abgesaugt und entsorgt, die dabei entstehende Abluft entweicht in die Halle. Die Dauer einer Reinigung beträgt etwa 30 Minuten, mit Trocknung und manueller Reinigung sind etwa 2 h zu veranschlagen.

Nach Schätzungen des Betriebsleiters gelangen 90 % der Kohlenstoffverbindungen aus dem Tankwagen über die Abluft in die Umwelt. Nur ein sehr geringer an der Wandung haftender und im Rost gebundener Anteil an organischen Stoffen wird bei der Wäsche durch den alkalischen Reiniger gelöst und mit dem Waschwasser ausgetragen.

Behandlung der Abluft

Die Betriebsgenehmigung der Anlage sieht eine maximale Beladung der Abluft von 6 mg C/m³ nach den Aktivkohlefiltern vor. Die Abluft wird kontinuierlich mittels Flammenionisationsdetektor (FID) überwacht. Wenn es aufgrund zu hoher Beladung der Aktivkohle zur Überschreitung des Grenzwertes kommt, wird ein Alarm ausgelöst, bei dem die weiteren Arbeiten bis zur Regeneration der Aktivkohle eingestellt werden. Die Regenerierung der Aktivkohle erfolgt mit Dampf. Der beladene Wasserdampf wird kondensiert und das Kondensat entsorgt.

Speziell für die Reinigung von Ottokraftstoffwagen gilt ein Abluftgrenzwert von 50 mg C/m³. Auch dieser höhere Grenzwert kann jedoch nach Aussage des Betreibers bei Ottokraftstoff nicht eingehalten werden. Die beim Reinigungsvorgang freigesetzten Dämpfe werden über die Hallenabsaugung über den vorhandenen Aktivkohlefilter geleitet, durch den jedoch nur eine schlechte Rückhaltung für kurzketten Kohlenwasserstoffe wie bei Benzindämpfen gegeben ist.

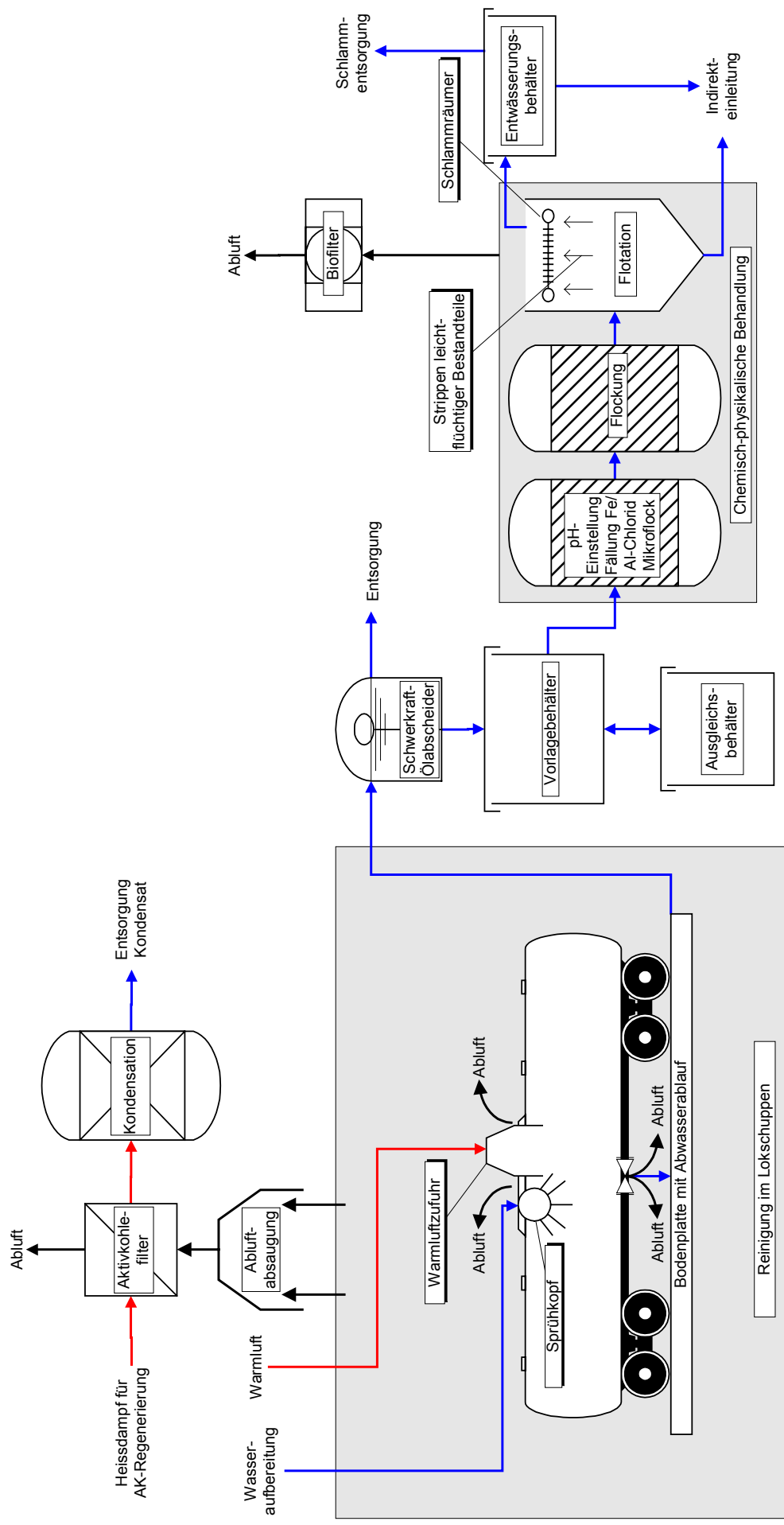
Als weitergehende Möglichkeiten der Abluftreinigung für Benzindämpfe werden eine TNV oder ein Biofilter angesehen. Ein Biofilter zur Abluftreinigung der Produktionsabluft war bereits früher im Einsatz. Dabei stellte sich jedoch heraus, dass dieser aufgrund des stark schwankenden Produktspektrums und den damit verbundenen Schwankungen der Abluftbeschaffenheit keine zufriedenstellenden Reinigungsleistung erzielte. Der Biofilter wird daher derzeit nur zur Reinigung der Abluft aus der Abwasseranlage eingesetzt. Für den Betrieb einer TNV unter den gegebenen Bedingungen werden von R.B.S. neben den hohen Investitionen aufgrund der schlechten Erfahrungen mit dem Biofilter ebenfalls unbefriedigende Reinigungsleistungen befürchtet.

Als freiwillige Maßnahme nimmt R.B.S. eine permanente Luftüberwachung an vier Messpunkten um das Betriebsgelände vor. Die Luftgüte wird mittels FID kontinuierlich analysiert, die Ergebnisse werden gerichtsfest dokumentiert.

Energieerzeugung

Die Warmluft zur Trocknung der Wagen wird über zwei Heizkessel und Wärmeübertrager bereitgestellt. Diese werden ebenfalls zur Erzeugung von Heißdampf (zur Reinigung sowie zur Aktivkohleregeneration) eingesetzt.

Abbildung 12: Fließschema der Tankinnenreinigung, Fa. R.B.S.



Behandlung der Waschwässer

Fa. Kaminski

Die separat aufgefangenen ersten hundert Liter des Waschwassers werden einem Schwerkraftabscheider zugeführt. Der kraftstoffhaltige Teil wird über einen Gefahrstofftank entsorgt, während das Brauchwasser zurückgewonnen und wieder in den Vorlagebehälter der Waschanlage gepumpt wird. Vom Vorlagebehälter wird das Brauchwasser in den Waschtank gefördert, wo die Zugabe des alkalischen Waschmittels und die Erwärmung mittels Dampfwärmeübertrager erfolgt.

Das restliche Waschwasser fließt über die Bodenventile des Kesselwagens ab und wird über die Waschplatte einem Ölabscheider, einem Partikelfilter (Filtersack) und einer pH-Anlage (pH 7) zugeführt. Das gereinigte Wasser wird anschließend wieder in den Vorlagebehälter der Waschanlage geleitet.

Durch die Kreislaufführung des Brauchwassers (ca. 100 m³) wird nur der Verdunstungsverlust sowie ein Teilstrom zur Erneuerung ersetzt (pro Tag etwa 300 Liter). Der Abwasserteilstrom wird aus dem Abscheidebehälter zur physikalischen Phasentrennung, nach mehreren Stunden Standzeit (über Nacht) abgeführt. Bei einer optisch erkennbaren Vermischung mit Kohlenwasserstoffen werden diese vor dem Einleiten in die Kanalisation mit H₂O₂ oxidiert oder sedimentieren in die Schlammphase des Abscheidebehälters oder entgasen und werden der Abluftbehandlung zugeführt.

Fa. R.B.S.

Die Waschwässer gelangen zunächst in einen Schwerkraft-Ölabscheider mit 80 m³ Volumen. Der normale Tagesdurchsatz der Anlage beträgt 30 – 40 m³, wovon 5 – 10 m³ aus der Reinigung mittels Sprühköpfen stammt. Die restliche Abwassermenge stammt aus manuellen Reinigungsvorgängen sowie aus den Niederschlagsabwässern, die auf dem Gelände anfallen. Danach wird das Abwasser über einen Vorlagebehälter einer chemisch-physikalischen Behandlung zugeführt. Für die stark schwankenden Abwassermengen steht hierbei ein Ausgleichsbecken zur Verfügung. Die chemisch-physikalische Behandlung besteht aus mehreren Prozessschritten. Zunächst erfolgt eine pH-Einstellung, Fällung mit Aluminium- und Eisenchlorid als Fällungsmittel sowie die Zugabe eines Flockungsmittels (Mikroflock). Die entstehende Emulsion ist jedoch noch nicht flotierbar, so dass im nächsten Behälter ein weiteres polymeres Flockungsmittel zugegeben wird. Die hierbei entstehenden Makroflocken werden dann flotiert, wobei gleichzeitig die letzten leichtflüchtigen Bestandteile gestrippt werden. Mittels eines Räumers wird der Schlamm ausgetragen, in einem Entwässerungsbehälter gesammelt und entsorgt. Das gereinigte Abwasser aus der chemisch-physikalischen Behandlung wird der Kläranlage zugeführt. Die Grenzwerte für die Indirekteinleitung betragen für Kohlenwasserstoffe 20 mg/l und für AOX 0,8 mg/l; diese Grenzwerte werden problemlos eingehalten, für Kohlenwasserstoffe liegen die Werte um 4 mgC/l.

Eine Wiederverwendung des Abwassers ist derzeit nicht möglich. Sowohl das Wasser für die Sprühköpfe als auch für die manuelle Reinigung werden in einer gemeinsamen Wasseraufbereitung bereitgestellt und auf den Betriebswasserdruck von zunächst 6 bar gebracht (für die Handreinigung). Als Problem erweisen sich die nach der chemisch-physikalischen Behandlung noch enthaltenen Resttenside durch den alkalischen Reiniger, die bei der manuellen Reinigung zu starker Schaumbildung führen würden. Eine Lösung wäre eine eigene biologische Reinigungsstufe zum Abbau der Tenside oder eine separate Wasseraufbereitung für die Sprühkopfreinigung, bei der auch die tensidhaltigen Abwässer eingesetzt werden könnten, möglich. Beides ist jedoch mit der z. T. erheblichen Investition in neue Anlagentechnik verbunden und bedürfte als Anlagenänderung der Genehmigung.

Bei der Reinigung von Kesselwagen mit halogenierten Produkten erfolgt die direkte Entsorgung sämtlicher wässriger Rückstände, die somit nicht der betriebsinternen Abwasseraufbereitung zugeführt werden.

Entsorgungsmöglichkeiten der Waschwässer

Die Abwasserbelastung mit organischen Stoffe bei der Reinigung entsteht durch die in den Wagen vorhandenen Ottokraftstoff-Restmengen sowie den Wandanhaftungen. Die Angaben der Betreiber über Restmengen sind sehr unterschiedlich und reichen von "in der Regel trocken" bis zu "20 – 30 und im Einzelfall bis zu 100 Liter". Es wird daher eine durchschnittliche Restmenge von ca. 10 l (ca. 7,5 kg) angenommen, die vollständig mit dem Waschwasser ausgespült wird. Die aufgrund der Wandanhaftungen enthaltene organische Beladung wird auf ca. 2,5 kg geschätzt, so dass die Abwasserfracht insgesamt mit ca. 10 kg organische Stoffe je Reinigung angenommen wird.

In den untersuchten Anlagen werden die beiden folgenden Verfahrenskombinationen zur Abwasserbehandlung eingesetzt:

1. Schlammfang, Ölabscheider, Partikelfilter, pH-Anlage, Abscheidebehälter
2. Ölabscheider, pH-Anlage, Fällung, Flotation

Mit einer Restbelastung des Abwassers an Kohlenwasserstoffen von etwa 4 mgC/l sowie einem AOX-Wert kleiner 0,8 mg/l ist die Reinigungsleistung in beiden Fällen für eine Indirekteinleitung ausreichend. Zur Verringerung der Abwasserbelastung ist in jedem Fall eine möglichst vollständige Restentleerung anzustreben.

Eine Kreislaufführung des Waschwassers ist je nach Anlagenbauweise möglich. Probleme können hierbei die für die Wäsche eingesetzten Tenside aufgrund der Schaumbildung bereiten.

7 Ansatzpunkte für Maßnahmen zur VOC-Emissionsvermeidung und –verminderung

Der Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen mittels Eisenbahnkesselwagen führt in Deutschland zu VOC Emissionen von bis zu 1,4 kt pro Jahr (siehe Kapitel 5). Dies entspricht einem Anteil von etwa 1/40 der aktuellen VOC Emissionen aus der Verteilung von Ottokraftstoffen insgesamt, obwohl etwa 1/3 der Transporte von Ottokraftstoffen in Deutschland per Bahn durchgeführt werden.

Bezogen auf ein Transportvolumen von 10.000 kt pro Jahr in Deutschland betragen die Emissionen weniger als 0,01 %. Diese günstigen Werte lassen sich unter anderem dadurch erklären, dass verringerte Emissionen zugleich auch verringerte Materialverluste bedeuten. Umweltbezogene Ziele sind somit in hohem Maß kompatibel mit wirtschaftlichen Zielen.

Eine Verminderung der Emissionen beim Umschlag von Mineralölprodukten mit einem Dampfdruck von mehr als 1,3 kPa bei 20 °C wird durch Erfassung der Dämpfe, Pendelung, Rückgewinnung oder Verbrennung der enthaltenen Kohlenwasserstoffe erreicht [Dippel und von Dincklage 2000]. Vor dem Hintergrund, dass der technische Ausrüstungsstand von Eisenbahnkesselwagen und der zugehörigen Umschlagseinrichtungen bereits ein vergleichsweise hohes Niveau repräsentiert, können Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung nur noch relativ geringe Emissionsreduktionspotenziale erreichen, die sich vor allem auf das Handling beim Befüllen beschränken.

Folgende technische Merkmale sind im Wesentlichen für die niedrigen Emissionsmengen verantwortlich:

- gasdichte Tanks mit Sicherheitsventilen, die kaum Atmungsverluste während des Transports zulassen
- Ausrüstung der Füllarme an Umschlagstationen mit Dichtkissen, die ein Abdichten des Mannlochs während der Befüllung erlauben
- Ausrüstung der Umschlags- und Lagereinrichtungen mit Gaspendeleinrichtungen und Gasrückgewinnungsanlagen

Durch verschiedene technische und organisatorische Maßnahmen lassen sich die aktuellen Emissionen weiter reduzieren. Folgende resultierende Optionen für Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen kommen in Frage:

- (1) Konsequente Implementierung der „best practice“
- (2) Erhöhung des Wirkungsgrades der Abluftreinigung bei der Tankinnenreinigung
- (3) Verringerung der Restmengen beim Entleeren
- (4) Befüllung durch Bottom-Loading
- (5) Beschleunigte Ausstattung von Kesselwagen mit Überdruck-Abluss-Anschluss, entsprechende Adaptierung der Befüllstationen und Modifikation des Befüllvorgangs (Anschluss an den Überdruck Abluss vor Öffnen des Domdeckels)
- (6) Erhöhung des Wirkungsgrades der Dämpferückgewinnung

(1) Konsequentes Durchsetzen der „best practice“

Die Ergebnisse des vorliegenden Projekts zu Emissionen, die bei Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen mittels Eisenbahnkesselwagen entstehen, zeigen, dass bereits ein relativ hoher Status bezüglich der emissionsrelevanten Ausstattungsmerkmale und Maßnahmen erreicht ist. Das Emissionsreduktionspotenzial beschränkt sich im Wesentlichen auf das Handling. Die Ursachen für Emissionen während des Handlings sind vor allem Restmengen, die beim Entleeren zurückbleiben und beim nächsten Befüllvorgang über das Mannloch emittieren können (siehe Kapitel 3).

Die Höhe dieser Emissionen hängt ganz wesentlich vom Handling beim Entleeren und Befüllen ab. Die Betreiber von Umschlagstationen gestalten das Handling aufgrund der geschilderten Problematik in der Regel bereits so, dass möglichst geringe Emissionen entstehen. Das in Kapitel 5 beschriebene Handling, welches zu möglichst geringen VOC Emissionen führt, kann in diesem Zusammenhang als „best practice“ bezeichnet werden und sollte an allen Umschlagstationen in Deutschland konsequent durchgesetzt werden.

Die folgenden Punkte sollten Bestandteil der „best practice“ sein:

- Ausreichend lange Auslaufzeiten im Anschluss an das Entleeren
- Öffnen des Domdeckels erst unmittelbar vor der Befüllung
- Schließen des Domdeckels unmittelbar nach der Befüllung
- Sicherstellen einer einheitlichen Bedienung im Sinne der Emissionsvermeidung (z.B. durch Mitarbeiterschulungen und exakte Arbeitsanweisungen)

(2) Erhöhung des Wirkungsgrades der Abluftreinigung bei der Tankinnenreinigung

Durch eine konsequentere Erfassung sowie weiter gehende Behandlung der Abluft aus der Tankinnenreinigung können die entstehenden VOC-Emissionen zusätzlich reduziert werden. Der erfolg versprechendste Ansatzpunkt ist hierbei die Erfassung und Reinigung der Emissionen, die beim Öffnen des Mannlochs entstehen (siehe Kapitel 5). Bei einer VOC-Minderung um 99,5 % auf 5 g/m³ (einstufige Adsorption, siehe Tabelle 11) des gesamten Kesselwagenvolumens verbleiben somit Restemissionen von lediglich:

$$2.500 \cdot 90 \text{ m}^3 \cdot 5 \text{ g/m}^3 \approx 1,1 \text{ t}$$

Dies entspricht einer Minderung gegenüber den in Kapitel 5 ermittelten 40 t um ca. 97 %.

Gemäß der Neufassung der TA Luft¹¹ gilt bei der Innenreinigung von Eisenbahnkesselwagen für die Emissionen an organischen Stoffen ein Grenzwert von 0,10 kg/h bzw. 20 mg/m³ an Gesamtkohlenstoff (Ziffer 5.4.10.21.1). Nach den vorliegenden Kenntnissen ist dieser Grenzwert speziell bei der Reinigung von Kesselwagen, die zuvor zum Transport von Ottokraftstoffen genutzt wurden, in der Praxis nicht erreichbar. So sind bei einer Ausgangsbeladung an Benzindämpfen von 1 kg/m³ selbst mit einer thermischen Nachverbrennung (TNV) nur minimal 50 mg/m³ an Kohlenwasserstoffen als Reingaskonzentration im Dauerbetrieb zu erreichen (Tabelle 11). Es wird empfohlen, den Grenzwert zu überprüfen.

Für den Einsatz von Emissionsminderungsmaßnahmen ist jedoch unbedingt zu beachten, dass die in den Reinigungsanlagen behandelten Eisenbahnkesselwagen eine Vielzahl verschiedener Transportgüter enthalten. So ist die Reinigung von Ottokraftstoffkesselwagen zumindest in einem der untersuchten Betriebe mit lediglich 1 % der gereinigten Wagen nur von marginaler Bedeutung. Die unterschiedlichen Güter erfordern jeweils spezifische Reinigungsverfahren: Dabei unterscheiden sich sowohl die Wagenmaterialien, der Verschmutzungsgrad der Wagen als auch der zu erzielende Reinheitsgrad deutlich. In der Regel werden die einzelnen Abluft- und Abwasserteilströme nicht separat behandelt, sondern vermischt und einer gemeinsamen Abluft- bzw. Abwasserbehandlungsanlage zugeführt. Abluft und Abwasser fallen zudem diskontinuierlich nur zum Zeitpunkt der Reinigung an. Die Voraussetzungen für den Einsatz einer TNV zur Abluftreinigung bei der Kesselwagenreinigung scheinen daher nicht gegeben zu sein (ebenso: [Mügge 2003])¹².

¹¹ Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 24. Juli 2002. Berlin, 2002 (GMBI. Nr. 25 - 29 vom 30.7. 2002 S. 511).

¹² Der Emissionsgrenzwert von 20 mg/m³ gilt gleichermaßen für die Innenreinigung von Straßentankfahrzeugen. Dieser wird nach [Mügge 2003] eingehalten, indem vor der Reinigung ein kurzfristiger Produktwechsel von Ottokraftstoffen auf Diesel/Heizöl durchgeführt wird, was jedoch bei Kesselwagen weniger einfach durchzuführen ist.

Bei einer Abgaskonzentration von 5 g/m^3 ist jedoch auch der geforderte Abluftmassenstrom von $0,10 \text{ kg/h}$ bei einem Tankvolumen von 90 m^3 und einer Reinigungsdauer von ca. 2 h nur über einen entsprechenden Abluftvolumenstrom (Verdünnung) zu erreichen.

$$90 \text{ m}^3/2 \text{ h} \cdot 5 \text{ g/m}^3 = 225 \text{ g/h.}$$

Diese Werte korrespondieren mit den in der 20. BImSchV geforderten Emissionsgrenzwerten beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen in genehmigungsbedürftigen Anlagen, wobei für einen Massenstrom $< 3 \text{ kg/h}$ eine maximale Dämpfekonzentration von 5 g/m^3 gefordert wird.

Vor diesem Hintergrund ist zur Minimierung der Emissionen zunächst eine möglichst vollständige Erfassung der Kesselwagenatmosphäre bedeutsam. Bei Einsatz einer Aktivkohlereinigung betragen die Gesamtemissionen aus der Reinigung von Ottokraftstoffkesselwagen etwas über 1 t.

Angesichts der somit vernachlässigbaren Mengenrelevanz sowohl hinsichtlich des Anteils an Ottokraftstoffkesselwagen bei der Reinigung wie auch der resultierenden Gesamtemissionen besteht keine ausreichende Grundlage für weitergehende Maßnahmen zur Abluft- oder Abwasserreinigung.

(3) Verringerung der Restmengen beim Entleeren

Alle Maßnahmen zur Verringerung der Restmengen beim Entleeren verfolgen letztendlich das Ziel, die diffusen Emissionen zu vermeiden, die im Wesentlichen beim Öffnen des Domdeckels beim nächsten Befüllvorgang als Folge von Restmengen freigesetzt werden.

In den derzeit betriebenen Kesselwagen bleiben Restmengen an Ottokraftstoff zurück (siehe Kapitel 3), wobei deren Umfang von verschiedenen logistischen und technischen Faktoren wie Auslaufzeit, Temperatur, Viskosität, Bauart des Kesselwagentanks und des Auslassrohrs sowie der Prozessführung durch den Bediener abhängt. In Einzelfällen können sehr große Mengen aufgrund von Bedienfehlern zurückbleiben.

Mögliche Maßnahmen zur Verringerung der verbleibenden Restmengen sind:

- verlängerte Auslaufzeiten
- der beschleunigte(n) Ersatz von Kesselwagenaltbestand durch moderne, optimierte Kesselwagen
- einschlägig geschultes Personal mit klaren Anweisungen zur Prozessführung

Diese Maßnahmen können mit verlängerten Entladezeiten und erhöhten Investitionen für den beschleunigten Ersatz des Kesselwagenaltbestands verbunden sein. Vor dem Hintergrund, dass der bestehende Kesselwagenbestand ohne zusätzliche Maßnahmen sukzessive gegen moderne Kesselwagen ausgetauscht wird und der Effekt der Kesselwagenbauart eher gering ist, erscheint der finanzielle Aufwand eines beschleunigten Ersatzes von Kesselwagen nicht verhältnismäßig. In Anbetracht der extremen Stillstandszeiten von Kesselwagen (vgl. Kapitel 3) wirkt dagegen der zusätzliche Aufwand durch verlängerte Entladezeiten vertretbar.

Eine weitere mögliche Maßnahme wäre das Vermeiden von Bedienfehlern. Es liegt auf der Hand, dass Bedienfehler von allen Beteiligten aus wirtschaftlichen Gründen nicht erwünscht sind und deren Vermeidung im Rahmen der „best practice“ (siehe Punkt (6)) ohnehin angestrebt wird.

(4) Befüllung durch Bottom-Loading

Das Befüllen durch Bottom-Loading zielt ebenfalls auf die Verringerung der diffusen Emissionen bei der Beladung ab und stellt eine alternative Maßnahme zu (1) dar.

Der Vorteil des Bottom-Loading liegt darin, dass die Domdeckel zur Befüllung gar nicht mehr geöffnet werden müssen und diffuse Emissionen auf diesem Weg vermieden werden.

Die Untenbefüllung erfolgt über die Entleerleitung, die einen Durchmesser von mindestens 100 mm (Rohrquerschnitt 7865 mm²) aufweist. Demgegenüber stehen Rohrdurchmesser von in der Regel 250 mm (Rohrquerschnitt 49158 mm²) bei der Spotbefüllung von oben. Aufgrund der Entzündlichkeit von Ottokraftstoff und der Gefahr der elektrostatischen Aufladung ist die zulässige Fließgeschwindigkeit von Ottokraftstoffen begrenzt. Die unterschiedlichen Rohrdurchmesser erlauben bei gleicher Fließgeschwindigkeit mehr als die 6-fache Durchflussmenge. Folglich sind für die Untenbefüllung längere Ladezeiten erforderlich. Dem zu Folge ist das Bottom-Loading häufig nur in einer Reihenbefüllung von Kesselwagen möglich, um eine ausreichend große Menge in vorgegebener Zeit zu verladen. Die restlose Entleerung des Verteilerrohres nach der Befüllung ist nicht ganz unproblematisch, es kann zu Restmengen und evtl. zu diffusen Emissionen aus Tropfverlusten kommen.

Die Umschlageinrichtungen in Deutschland sind technisch für die Obenbefüllung ausgerüstet. Ein flächendeckender Einsatz des Bottom-Loading wäre technisch mit Einschränkungen möglich und mit umfangreichen Umbaumaßnahmen an den Umschlagseinrichtungen verbunden. Neben den erheblichen Investitionen sind beim Bottom-Loading auch deutlich erhöhte Betriebskosten zu verzeichnen.

(5) Einführung und Nutzung der Überdruck-Ablass-Einrichtung

Ein Lösungsansatz zur Verringerung der diffusen Emissionen bei der Beladung wäre die Einführung und Nutzung der Überdruck-Ablass-Einrichtung.

Dieses technische Ausstattungsmerkmal am Kesselwagen ermöglicht den Druckausgleich zwischen Kesselwagen und Dämpferückgewinnungssystem der Füllstation. Voraussetzung ist, dass auch die Füllstation für den Anschluss mit einer entsprechenden Verbindung ausgerüstet ist. Über den Anschluss könnte etwaiger Überdruck vor dem Öffnen der Domdeckel abgelassen werden. Die damit verbundenen VOC Emissionen würden nicht freigesetzt werden, sondern über das Dämpferückgewinnungssystem der Umschlageinrichtung geführt werden.

Gegenwärtig sind erst weniger als 10 % der Kesselwagen mit einem solchen Anschluss ausgestattet, und selbst wenn er vorhanden ist, wird er in der Praxis nicht oder nur selten genutzt. Die konsequente Einführung und Nutzung des Überdruck-Ablass-Anschlusses würde die diffusen Emissionen über das Mannloch vor dem Befüllen erheblich reduzieren. Nachteile würden aus dieser Vorrichtung für die Umwelt nicht resultieren, so dass eine ökologische Bewertung eindeutig positiv ausfällt.

Technisch wäre die sukzessive Nachrüstung der Kesselwagen kein Problem (der Überdruck-Ablass-Anschluss muss nach EN 12561-5 mit der Kupplung der Gaspendelung nach EN 12561-2 übereinstimmen), damit sind jedoch Investitionen verbunden. Technisch ebenfalls möglich, aber ebenfalls mit deutlichem finanziellem Zusatzaufwand verbunden, wäre die Ausrüstung bestehender Befüllstationen mit einer Gaspendeleinrichtung, die den Anschluss an den Überdruck-Ablass-Anschluss vor dem Befüllen erlaubt.

Weiterhin würde die konsequente Nutzung des Überdruck-Ablass Anschlusses einen erhöhten Handlingaufwand nach sich ziehen, weil jeder Wagen vor dem Öffnen des Domdeckels an die Gaspendelung anzuschließen wäre. Nach Angaben der Betreiber der Füllstationen wären für das Handling dann anstelle einer zukünftig zwei Personen pro Schicht für die Durchführung des Befüllvorgangs erforderlich.

(6) Erhöhung des Wirkungsgrades der Dämpferückgewinnung

In Umschlageinrichtungen werden die verdrängten Dämpfe über Rückgewinnungsanlagen geleitet. Ziel der Dämpferückgewinnung ist eine Verflüssigung der Kohlenwasserstoffe. Der Dämpferückgewinnung wird fallweise ein Dämpfespeicher vorgeschaltet, um kurzfristig anfallende Mengen von Kohlenwasserstoff-Luftgemischen aufzunehmen und somit eine gleichmäßige Belastung der Rückgewinnungsanlage zu gewährleisten. Bei der Dämpferückgewinnung wird der gesetzlich vorgegebene Emissionsgrenzwert von 150 mg/m³ nach Aussage der Betreiber bei allen Anlagen eingehalten.

Bei den einzelnen Umschlageinrichtungen sollte eine optimale Auslegung der Dämpferückgewinnung zur Erreichung minimaler Emissionen über die Dämpferückgewinnungsanlage in allen Einzelfällen angestrebt werden. Eine generelle Forderung niedriger Emissionsgrenzwerte führt nur zu vergleichsweise geringen ökologischen Vorteilen (gesamtes VOC Emissionsreduktionspotenzial 2 bis 3 t) bei hohem finanziellen Aufwand.

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Für Emissionen bei Be- und Entladevorgängen von Mineralölprodukten in bzw. aus Kesselwagen sind praktisch ausschließlich Ottokraftstoffe relevant. Diese Tatsache leitet sich aus dem niedrigen Dampfdruck und der hohen Transportmenge ab. Andere, potenziell relevante Materialien (z.B. Naphta) mit vergleichbaren physikalischen Eigenschaften werden nicht in Kesselwagen transportiert.

Etwa ein Drittel der in Deutschland verbrauchten Ottokraftstoffe wird per Bahn verteilt. Die NMVOC Emissionen von jährlich max. 1,4 kt aus Transport, Umschlag und Lagerung von Ottokraftstoffen mit Eisenbahnkesselwagen ist daher vergleichsweise gering in Relation zu Emissionen von aktuell etwa 41 kt aus der Verteilung von Ottokraftstoffen insgesamt.

Die bereits relativ niedrigen Emissionen sind auf in der Vergangenheit durchgeführte Maßnahmen zurückzuführen, wie

- Ausführung von Kesselwagen als „luftdicht verschlossen“ und regelmäßige Prüfung auf Dichtheit
- Ausrüstung der Schnittstelle Kesselwagen/Umschlagseinrichtung mit Gasrückführeinrichtungen
- Ausrüstung der Schnittstelle Kesselwagen/Umschlagseinrichtung so, dass das Mannloch während des eigentlichen Befüllens abgedichtet ist
- Ausrüstung der Umschlagseinrichtung mit Abluftreinigungsanlagen

Dementsprechend niedrig ist das Emissionsreduktionspotenzial im Bereich Transport, Umschlag und Lagerung von Ottokraftstoffen einzuschätzen und die Realisierung von weiteren Maßnahmen ist mit vergleichsweise geringen Verringerungen von VOC Emissionen verbunden.

Durch eine Kombination verschiedener technischer, organisatorischer und logistischer Maßnahmen ließen sich die aktuellen Emissionen dennoch weiter reduzieren. Dabei sind die möglichen Maßnahmen unter ökologischen, technischen und Kosten-Nutzen Gesichtspunkten abzuwägen. Die Tabelle 13 liefert hierzu eine Zusammenfassung für eine überschlägige technisch-ökonomisch-ökologische Bewertung der in Kapitel 7 erörterten möglichen Maßnahmen zur Reduktion der VOC Emissionen aus dem Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen mit Eisenbahnkesselwagen.

Tabelle 13: technisch-ökonomisch-ökologische Bewertung möglicher Maßnahmen zur Reduktion der VOC Emissionen

Mögliche Maßnahme	ökologisch sinnvoll?	technisch möglich?	ökonomisch sinnvoll?
(1) Durchsetzung „best practice“	ja	ja	ja
(2) Erhöhung Wirkungsgrad Abluftfassung und -reinigung bei der Tankinnenreinigung	ja (Erfassung)	ja (Erfassung)	ja (Erfassung)
(3) Verringerung der Restmengen	ja	im Einzelfall	unsicher
(4) Bottom-Loading	unsicher	ja	nein
(5) Überdruck-Ablass-Anschluss	ja	ja	nein
(6) Erhöhung Wirkungsgrad Dämpferückgewinnung	unsicher	ja	nein

Die Bewertung macht folgendes deutlich:

- Im Zuge des Forschungsvorhabens konnten nicht alle relevanten Anlagen in Deutschland in Augenschein genommen werden. Im Bericht wird in enger Abstimmung mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis eine "best practice" beschrieben, die nach Aussagen der Beteiligten in der Regel in Deutschland etabliert ist. Diese "best practice" lässt sich in Deutschland wirtschaftlich betreiben. Sollten einzelne Kesselwagen oder einzelne Anlagen zum Befüllen, Entleeren oder Reinigen von Kesselwagen die best practice nicht erfüllen, so sollte sowohl aus Sicht der in den Betrieben Verantwortlichen als auch aus Sicht des Vollzugs eine Implementierung der best practice durchgesetzt werden.
- Die Verbesserung der Erfassung von Emissionen bei der Tankinnenreinigung stellt sowohl eine technisch machbares als auch ökologisch und ökonomisch sinnvolle Maßnahme dar.
- Technische Maßnahmen zur Verringerung der Restmengen (3) können im Einzelfall ökologisch und ökonomisch sinnvoll sein. Spezifische gesetzgeberische Maßnahmen erscheinen aber aus Kosten-Nutzen Relationen nicht empfehlenswert, die Beteiligten sollten jedoch insbesondere bei neuen Kesselwagen darauf achten, dass die Vorgaben der EN 12561 erfüllt sind.
- Die technischen Maßnahmen (4) und (5) wären ökologisch sinnvoll und technisch realisierbar, sind aber aufgrund des relativ geringen Reduktionspotenzials (< 1 kt) im Vergleich zu dem hohen erforderlichen finanziellen Aufwand nicht empfehlenswert.
- Technische Maßnahmen in der Abluftbehandlung der Dämpferückgewinnung (6) sind allenfalls in Einzelfällen sinnvoll. Auch hier werden generelle staatliche Maßnahmen aus Kosten-Nutzen-Gründen nicht empfohlen.

9 Literaturverzeichnis

Bayernoil 2003

Bayernoil Raffineriegesellschaft mbH: Gemeinsam erfolgreich. Ingolstadt, 2003.

DB Cargo 2002

DB Cargo AG, CFC 1 Team Statistik/Stammdaten: Mineralöltransporte nach Hauptverkehrsbeziehungen 2001. Mainz, 2002

DGMK 1976

Deutsche wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl; Erdgas und Kohle e.V.: BMI-DGMK-Teilprojekt 4590-08 – KW-Emissionen bei der Atmung der Transportbehälter von Eisenbahnkesselwagen. Hamburg, 1976.

Dippel und von Dincklage 2000

Dippel, Joachim; von Dincklage, Ralph-Detlef: Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten; Deutscher Beitrag zu den besten verfügbaren Techniken in der Raffinerieindustrie. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, 2000.

EEA 2002

European Environment Agency: EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 3rd edition. Copenhagen, 2002.

EIPPCB 2003

European IPPC Bureau: Integrated Pollution Prevention and Control - Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry. Sevilla, 2003.

EIPPCB 2003a

European IPPC Bureau: Integrated Pollution Prevention and Control - Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries. Sevilla, 2003.

EPA 1995

U.S. Environmental Protection Agency: Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources. NC, 1995.

ERE 2002

Erdöl-Raffinerie-Emsland: Produkte – Produktion, Logistik. Lingen, 2002 (www.ere.de).

ESSO 2003

ESSO Deutschland GmbH: Versorgung mit Mineralölprodukten. Hamburg, 2003
(www.esso.de/ueber_uns/info_service/publikationen/downloads/files/versorg.pdf).

Göde 2003

Göde (Holborn Europa Raffinerie GmbH, Hamburg): Persönliche Mitteilung. Oktober 2003.

MiRO 2003

MiRO Mineralölraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG: Miro-Portrait - Miro in Zahlen. Karlsruhe, 2003 (www.miro-ka.de).

Mügge 2003

Ing. Büro Mügge (Mitglied des Arbeitskreises für Anlagen der Nummer 10.21): Persönliche Mitteilung. Bingen, 2003.

MWV 1999

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Mineralöl und Raffinerien. Hamburg, 1999.

MWV 1999a

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Mineralöl-Logistik. Hamburg, 1999.

MWV 2002

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Mineralöl in Zahlen 2001. Hamburg, 2002.

MWV 2003

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Mineralöl-Zahlen 2002. Hamburg, 2003.

MWV 2003a

Mineralölwirtschaftsverband e.V.: MWV-Prognose 2020 für die Bundesrepublik Deutschland. Hamburg, 2003.

OMV 2003

OMV Aktiengesellschaft: Der OMV Konzern - Fakten und Zahlen. Wien, 2003.

Pauli 2003

Pauli (ESSO Deutschland GmbH, Raffinerie Ingolstadt, Presse- und Informationsabteilung): Persönliche Mitteilung, Oktober 2003.

PCK 2003

PCK Raffinerie GmbH: Produktion/Logistik - Versorgung, Kapazität. Schwedt, 2003
(www.pck.de).

Rüther 2003

Rüther (Ruhr Oel GmbH): Persönliche Mitteilung. Gelsenkirchen, Oktober 2003.

Scherzer 2003

Dipl.-Ing. Scherzer GmbH: Flash Animation Kesselwagen-Belade- und Endladeanlage. Essen, 2003 (www.scherzer.net/D12.htm#).

Statistisches Bundesamt 2002

Güterverkehr der Eisenbahnen im Jahr 2001 – Beförderte Güter im Wagenladungsverkehr nach Hauptverkehrsbeziehungen und Gütergruppen. Wiesbaden, 2002.

TOTAL 2003

TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH: Raffinerie. Spergau, 2003 (www3.total.de/home/Raffinerie/index.htm).

UIP 2003

Union Internationale des Wagons Privés (Internationale Privatgüterwagen-Union): UIP-Reinheitsschlüssel, Stand: November 2000. Madrid, 2003 (<http://www.uiprail.org/document/UIP-Reinheitsschlüssel-de.pdf>).

ULLMANN'S 2002

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH Verlag, 2002.

VDI 2440, 2002

Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 2440, Emissionsminderung - Raffinerieerne Mineralöltankläger, Beuth-Verlag, 2002.

VDI 3479, 2002

Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie 3479, Emissionsminderung - Raffinerieerne Mineralöltankläger, Beuth-Verlag, 2002.

VTG 2002

VTG-Lehnkering AG: Mineralölkesselwagen 95 m³ – VTG-Type 1695.88 für den Transport von Produkten der Klasse 3 RID, November 2002

Weyer 1998

Weyer Verfahrenstechnik: VOC-Emissionsminderung bei Tankentgasungen. Studie im Auftrag des BUWAL, Basel, 1998

10 Anhang

10.1 Anhang: Fragebogen

Verfügbare Kesselwagen

- Wie viele der in Deutschland zugelassenen Kesselwagen werden für den Transport von Ottokraftstoffen eingesetzt?
- Wie viele im Ausland zugelassene Kesselwagen werden für den Transport von Ottokraftstoffen eingesetzt (evtl. Schätzung)?
- Wie verteilen sich die eingesetzten ausländischen Kesselwagen auf EU-Länder (inkl. Schweiz) und Nicht-EU-Länder (ungefähre % Werte)?

Technische Standards Kesselwagen

Erläuterung:

Bis jetzt wurden zwei wesentliche technische Merkmale, die emissionsrelevant beim Transport/Verladen von Ottokraftstoffen in Kesselwagen sind, erhoben:

- a) Gaspendelleitung für Be- und Entladevorgänge. Die Verwendung ist an sich im Bundesimmissionsschutzgesetz vorgeschrieben, dennoch könnten noch alte Kesselwagen ohne eine solche Einrichtung im Einsatz sein.
- b) Überdruckventil für Druckausgleich während der Fahrt. Bei modernen, druckgeprüften Kesselwagen ist eine solche Einrichtung nicht erforderlich, da die durch Temperaturerhöhung potenziell auftretende Druckbelastung des Wagens durch konstruktive Auslegung kompensiert wird. „Atmungsverluste“ während des Transportes können daher nur bei Kesselwagen auftreten, die noch über solche Einrichtungen verfügen.

Wenn Ihnen weitere emissionsrelevante technische Einrichtungen (Parameter) bekannt sind, bitten wir Sie, die nachstehende Tabelle entsprechend zu ergänzen.

	Gaspendelleitung	Überdruckventil	Parameter 3	Geschätzter Anteil am Kesselwagenpark der in Deutschland im Verkehr ist [%] ¹⁾
Techn. Standard A	JA	NEIN		
Techn. Standard B	JA	JA		
Techn. Standard C	NEIN	NEIN		
Techn. Standard D	NEIN	JA		
Techn. Standard E				
Techn. Standard F				

¹⁾ ausschließlich in D zugelassene Kesselwagen

Bitte ergänzen Sie nachstehende Tabelle in analoger Weise für ausländische Kesselwagen:

	Gaspendelleitung	Überdruckventil	Parameter 3	Geschätzter Anteil am Kesselwagenpark der in Deutschland im Verkehr ist [%] ¹⁾
Techn. Standard A	JA	NEIN		
Techn. Standard B	JA	JA		
Techn. Standard C	NEIN	NEIN		
Techn. Standard D	NEIN	JA		
Techn. Standard E				
Techn. Standard F				

¹⁾ ausschließlich im Ausland zugelassene Kesselwagen

Zukünftige Planungen

- Welche zukünftigen Ausstattungen werden bei Kesselwagen erwartet?
- Sehen die Investitionsplanungen für Kesselwagen über Ersatzinvestitionen hinaus
 - zusätzliche Investitionen (Wachstum in % der gegenwärtig zugelassenen Kesselwagen)
 - Desinvestitionen (Abnahme in % der gegenwärtig zugelassenen Kesselwagen) bis 2010 vor?

Verfügbare Umfüllanlagen

- Wie viele Anlagen zum Befüllen und Entleeren von Kesselwagen mit Ottokraftstoff gibt es in Deutschland?

Technische Standards Befüll- und Entleeranlagen für Ottokraftstoffe

▪ Befüllanlagen

Bis jetzt haben sich zwei wesentliche technische Merkmale für Befüllanlagen ergeben. Wenn Ihnen weitere Standards (Standard III, etc.) bekannt sind, bitten wir Sie, die nachstehende Tabelle entsprechend zu ergänzen.

Type	Techn. Beschreibung	Anteil der Anlagen bezogen auf Umschlagmenge [%]
Standard I	Befüllung von oben mit Gaspendelung in Ausgangstank	
Standard II	Befüllung von oben mit Gaspendelung in Abluftreinigung	
Standard III	Andere Befüllung ¹⁾	

¹⁾ stichwortartige Beschreibung von Standard III:

Welche der technischen Merkmale werden als Stand der Technik angesehen?

▪ **Entleerungsanlagen**

Bis jetzt haben sich drei wesentliche technische Merkmale für Entleerungsanlagen ergeben. Wenn Ihnen weitere Standards (Standard VII, etc.) bekannt sind, bitten wir Sie, die nachstehende Tabelle entsprechend zu ergänzen.

Type	Techn. Beschreibung	Anteil der Anlagen bezogen auf Umschlagmenge [%]
Standard IV	Entleerung mit Gaspendelung in Kesselwagen	
Standard V	Entleerung in Tank mit Schwimmdach	
Standard VI	Entleerung mit Gaspendelung in Abluftreinigung	
Standard VII	Andere Entleerung ¹⁾	

¹⁾ stichwortartige Beschreibung von Standard VII:

Welche technischen Merkmale werden als Stand der Technik angesehen?

Zukünftige Planungen

- Welche zukünftigen Ausstattungen werden bei Anlagen zum Befüllen und bei Anlagen zum Entleeren von Kesselwagen mit Ottokraftstoffen erwartet?
- Sehen die Investitionsplanungen für die Befüll- und Entleerungsanlagen über Ersatzinvestitionen hinaus
 - zusätzliche Investitionen
 - Stilllegungen
 bis 2010 vor?

Abschätzung Emissionsmenge pro Befüll- und Entleervorgang

Die Tanks deutscher Kesselwagen sind üblicherweise mit zwangsbetätigten, federbelasteten Belüftungsventilen ausgestattet, die bei einem Unterdruck von ca. 0,4 bar öffnen und so den Volumenverlust beim Entleeren durch Frischluft ausgleichen [VTG 2002]. Nach der 20. BImSchV. müssen Dämpfe, mit Ausnahme der Freisetzung über Überdruckventile, nach der Entleerung von Ottokraftstoffen im Kesselwagen solange zurückgehalten werden, bis dieser in einem Tanklager wieder befüllt wird oder die Dämpfe einer Abgasreinigungseinrichtung zugeführt werden [20. BImSchV 1998]. Die Atmungsverluste beim Transport in modernen Fahrzeugen werden mit weniger als 0,001 % des Flüssigkeitsvolumens angegeben [CORINAIR 1999]. Die amerikanische Umweltbehörde EPA, quantifiziert die Atmungsverluste von Ottokraftstoffen aus Kesselwagen mit 0–1 mg pro transportiertem Liter Ottokraftstoff [EPA 2002]. Bei einem angenommenen Transportvolumen von 95 m³ pro Kesselwagen, könnten bis maximal 95 g VOC pro Transportvorgang durch die Tankatmung freigesetzt werden.

Atmungsverluste von frei belüfteten Kesselwagen können dagegen nicht vernachlässigt werden [CORINAIR 1999]. Vor diesen Hintergrund stellen sich folgende Fragen:

- Sind die europäischen Angaben aufgrund von vergleichbarer technischer Ausstattung auf Deutschland übertragbar?
- In welcher Zahl werden frei belüftete Fahrzeuge eingesetzt?

Aufgrund der oben gemachten Angaben möchten wir Sie bitten, die Emissionen, die bei Kesselwagen mit den Standards A, B, C, D, .. in Anlagen mit den Standards I, II, III, ... auftreten, in die folgende Matrix einzutragen. Die Emissionen sollten in g pro t Ottokraftstoff angegeben werden (gegebenenfalls Spannen oder Schätzwerte).

Kesselwagen Type	Standard A	Standard B	Standard C	Standard D	
Befüllanlagen					
Standard I					
Standard II					
Standard III					
Entleerungsanlagen					
Standard IV					
Standard V					
Standard VI					
Standard VII					

Transportvolumen von Mineralölprodukten und Umschlagshäufigkeit

Transportvolumina und Transportstrecken per Schiene sollen für Ottokraftstoffe anhand von Befragungen von 5 großen Raffinerien (Karlsruhe, Gelsenkirchen, Vohburg / Ingolstadt, Wilhelmshaven, Spergau) ermittelt werden. Transportentfernungen für Ottokraftstoffe sollen aus der Bestimmung der Entfernung der jeweiligen belieferten Tanklager erfolgen. Kontakte zu Miro wurden aufgenommen.

- Können weitere Ansprechpartner vermittelt werden?
- Liegen allgemeine Erfahrungswerte über Transportvolumina und Transportstrecken per Schiene vor?

Tankinnenreinigung

Der Stand der Technik der Tankinnenreinigung von Kesselwagen soll anhand von mehreren Fallstudien in zertifizierten¹³ Betrieben beschrieben werden. Kontakte bestehen bisher zur Firma Kaminski, Hameln.

- Können weitere Ansprechpartner vermittelt werden?
- Eine Tankinnenreinigung kann bei Produktwechsel erforderlich sein. Gibt es Erfahrungswerte für die Zahl an Produktwechseln und erforderliche Tankinnenreinigung pro Kesselwagen und Jahr?

¹³ Safety and Quality Assessment System: Tankreinigungsanlagen, CEFIC

10.2 Anhang: Mitglieder des Arbeitskreises

Mitglieder des Arbeitskreises „VOC-Minderungspotenzial beim Transport und Umschlag von Mineralölprodukten mittels Kesselwagen“

Namen und Institutionen

Hr. Abendroth	Verband gewerblicher Tanklagerbetriebe e.V.
Hr. Altmann	Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V.
Hr. Gerstenkorn	Magdeburger Umschlag und Tanklager KG, Dettmer GmbH & Co.
Hr. Hillmann	VTG-Lehnkering AG
Hr. Joas	BiPRO GmbH
Hr. Kluge	Eisenbahn-Bundesamt
Hr. Krause	Umweltbundesamt
Hr. Sasse	Mineralölwirtschaftsverband e.V.
Hr. Schott	AFC Consult GmbH
Hr. Siemienic	Regierungspräsidium Halle
Hr. Traumann	Vereinigung der Privatgüterwagen-Interessenten
Hr. Wenzel	Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung

10.3 Anhang: Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gesamtemissionssituation bei Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen: Ist und Prognose 2010	3
Abbildung 2:	Verteilung der NMVOC-Emissionen in Deutschland	6
Abbildung 3:	Die Normungsinstitute der gekennzeichnete Länder sind angehalten, die EN 12561 anzuwenden	10
Abbildung 4:	Restmengenminimierung durch 1° Tankknick	12
Abbildung 5:	Import, Export und Inlandsabsatz von wichtigen Mineralölkomponenten im Jahr 2002 [MWV 2003]	18
Abbildung 6:	Transport von Rohöl und Mineralölprodukten [ESSO 2003]	19
Abbildung 7:	Mineralölraffineriestandorte und Tanklager [Bundesministerium für Verkehr, Deutsche Bundesbahn, in: MWV 1999a]	22
Abbildung 8:	Ausstattung moderner raffinerieferner Tanklager [VDI 3479, 2002]	29
Abbildung 9:	Differenzierung der verschiedenen technischen Ausstattungsmerkmale der Kesselwagen – Überfüllsicherung und Unterspiegel-Befüllung [Scherzer 2003]	30
Abbildung 10:	Gesamtemissionssituation bei Transport und Umschlag von Ottokraftstoffen: Ist und Prognose 2010	36
Abbildung 11:	Fließschema der Tankinnenreinigung, Fa. Kaminski	42
Abbildung 12:	Fließschema der Tankinnenreinigung, Fa. R.B.S.	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	technisch-ökonomisch-ökologische Bewertung möglicher Maßnahmen zur Reduktion der VOC Emissionen	4
Tabelle 2:	Beispiel für technische Details von Untenentleereinrichtung an Kesselwagen (Quelle: VTG-Lehnkering und EN 12561-2).....	12
Tabelle 3:	Ausstattung von in Deutschland eingesetzten Kesselwagen mit emissionsrelevanten technischen Merkmalen [Quelle: Fragebogenaktion, Expertengespräche].....	14
Tabelle 4:	Dampfdrücke und Relevanz für NMVOC Emissionen bei gleichem Transport und Umschlagsvolumen [Ullmanns 2002].....	17
Tabelle 5:	Marktvolumen für Benzinprodukte [MWV 2003].....	20
Tabelle 6:	Be- und Entladevorgänge in Deutschland beim Transport von Ottokraftstoffen per Eisenbahnkesselwagen	23
Tabelle 7:	Transportentfernungen für Motorenbenzin per Kesselwagen [DB Cargo 2002]	23
Tabelle 8:	Verbrauch von Ottokraftstoffen und Zahl der Be- und Entladevorgänge, Ist und Prognose 2010 [MWV 2003, MWV 2003a]	25
Tabelle 9:	Zusammensetzung von Ottokraftstoffen in der Flüssigphase und der Gasphase des Luft/Kraftstoffgemisches im Tank [VDI 2440, 2000].....	26
Tabelle 10:	Ausstattung von Tanklagern zur Lagerung von Produkten der Gefahrenklasse A I [VDI 3479, 2002]	28
Tabelle 11:	Emissionswerte für Dämpferückgewinnungs- und Verbrennungsanlagen bei der Verladung von Ottokraftstoffen [VDI 3479, 2002]	35
Tabelle 12:	UIP-Reinheitsschlüssel [UIP 2003]	39
Tabelle 13:	technisch-ökonomisch-ökologische Bewertung möglicher Maßnahmen zur Reduktion der VOC Emissionen	56