

Texte 12/2004

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
Stephan Wenzel

BiPRO Beratungsgesellschaft für integrierte Problemlösungen, München

- 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",

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

"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. 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 Befüllrichtungen, 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. 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 Emissio-

nen 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.

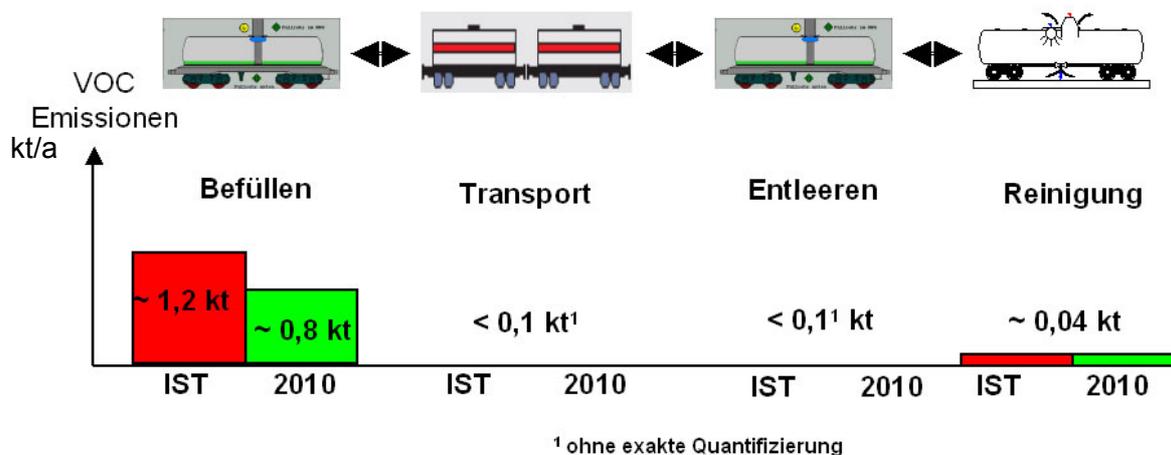
Emissionen bei der Tankinnenreinigung von Kesselwagen

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-Abluss-Anschluss, ent-

sprechende 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 Ablufferfassung 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 Vorga-

ben 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.

VOC-Reduction potential during transport and handling of mineral oil products by means of rail tank cars

Final Report

- Executive Summary -

Background

As a result of the Gothenburg Protocol of the UN/ECE and the NEC-Guideline, Germany has committed itself to achieving an emission limit of 995 kt/a NMVOC by 2010. In 2000, 1,605 kt NMVOC were emitted. Forecasts estimate 1,192 kt for 2010². The forecasted emissions for NMVOC therefore exceed the desired limit by 197 kt. Consequently, additional emission reduction potentials must be identified and measures for their implementation initiated.

VOC emissions are also resulting from handling and transport of mineral oil products. A combination of the emission relevant factors, "handled amount", "employed technology", and "vapour pressure" lead to motor fuel being the most important mineral oil product with reduction potential.

Emissions from the distribution of motor fuel reached approximately 41 kt in 2000, with 21 kt estimated for 2010¹. The estimated reduction stems from the implementation of the 20. and 21. BImSchV, as well as from a forecasted slight decrease in motor fuel consumption. Motor fuel is transported and handled with tanker ships, rail tank cars and trucks.

Objective of the Research Project

Against this background, the goal of this research project was to quantify the VOC emissions currently associated with rail tank cars, and building upon this, propose measures for their reduction and prevention. Cleaning of rail tank car interiors should also be considered.

Transport Volume and Rail tank car Numbers

Currently, 13 million m³ of motor fuel are being transported by rail tank cars in Germany. During these transports, a maximum of 300,000 loading and emptying processes are carried out. The forecasted reduction of motor fuel consumption allows an estimate of the corresponding fall in railway transports to 10 – 11 million in 2010, provided the percentage of motor fuel railway transports remains stable.

² National Programme of the Federal Republic of Germany according to article 6 RL 2001/81/EG from 23.10.2001 on maximum national emission values for certain air pollutants.

The number of rail tank cars licensed in Germany is 38,600. Thereof 11,000 –12,000 serve for the transport of mineral oils and 5,000 – 6,000 thereof are used for motor fuel.

The rail tank cars presently in use have an assortment of technical characteristics. However, significant differences with respect to emission-relevant components are not prevalent. It should be noted that only a relatively small percentage of rail tank cars (< 10%) are fitted with a pressure release connection. An important reference for the technical equipment of newer wagons is given by the European Standard EN 12561 “Railway Applications – Tank Wagons”. Further propagation of this standard can be expected with the enlargement of the EU.

Emissions During Loading

The loading of rail tank cars within Germany is conducted with special loading stations, which possess integrated gas recovery systems. A protective external nozzle is placed against the rail tank car filler and sealed by an inflatable cushion/ring. The rail tank car is then filled from an inner nozzle while vapours are extracted through the external nozzle and passed via hose to the gas recovery system. Accordingly, during emptying, vapours in the stationary tank are fed to the gas recovery system.

Before the actual loading process, the filler cap of the rail tank car is opened. Up until the time when the inflatable seal is placed over the filler, emissions can escape into the environment. The quantity emissions depends on the amount of motor fuel still in the tank, pressure, temperature, and time between opening of the filler and activation of the inflatable seal. During this phase emissions can occur due to various effects. In total, maximum emissions of 1.2 kt/a can be expected.

Emissions During Transport

Modern rail tank cars are designed for an operating pressure of 3 bar, whereas the test pressure reaches 4 bar and the calculated pressure is 10 bar. Therefore an overpressure valve is unnecessary. Older wagons have an overpressure valve that is activated when the pressure exceeds 1.5 bar. A forced ventilation valve simultaneously acts as a safety valve for negative pressure, which opens when 0.21 or respectively 0.4 bar negative pressure is reached. During transport, rail tank cars are considered to be hermetically sealed. They are fitted with various types of seals (safety valves, filler, release valves, etc.). The seals are made of appropriate synthetic materials. Pressure fluctuations present during transport could lead to VOC emissions if the seals do not function correctly. Seals must be replaced as soon as their function deteriorates (inspection of rail tank cars every four years, internal inspection and cleaning at the latest every eight years). Taking possible operating and maintenance errors into account, emissions during transport cannot be precisely quantified, but they are likely to remain below 0.1 kt/a.

Emissions during Emptying

Motor fuel is pumped from the tanks while the pressure is equalized by introducing fresh air. Emissions can occur as a result of small spills and leftover of liquid in hoses.

In general, according to EN 12561, the pumping facilities must be designed so that minimum residue remains in the components. Nevertheless, according to operators of such rail tank cars and pumping systems, motor fuel residues are remaining. Figures range from 0 to 30 Litres (in some instances even 100 Litres), while causes for the discrepancies are quite varied.

The residues that remain after emptying are generally not completely emitted into the atmosphere, however they are a source for emissions during loading and cleaning of rail tank cars.

Taking possible operating and maintenance errors into account, the emissions from this source cannot be exactly quantified. However they remain below 0.1 kt/a.

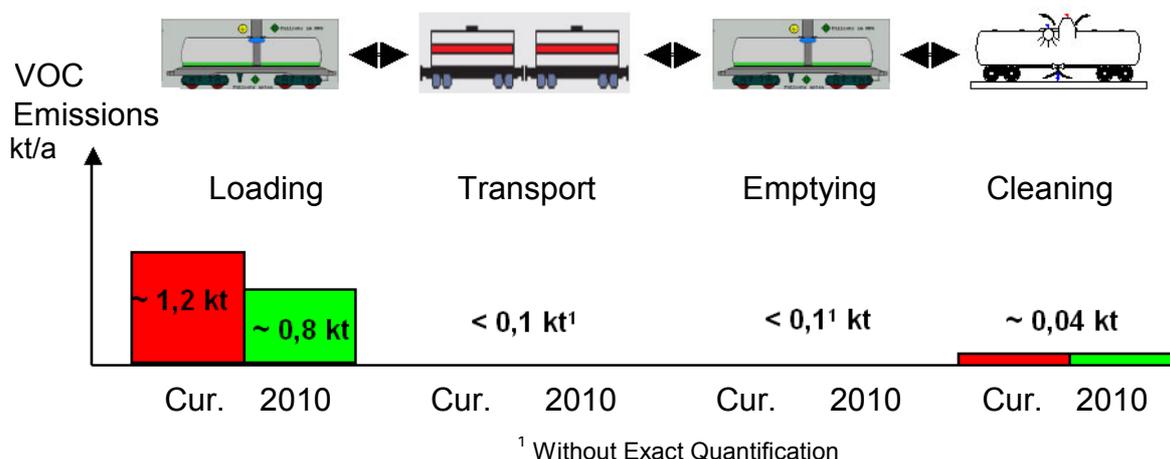
Emissions From Internal Cleaning of Rail Tank Car Tanks

The amount of emissions released during cleaning of the tank interiors reach a maximum of 0.04 kt/a.

Conclusion: Actual Emissions and Business as Usual

VOC emissions caused by the transport and handling of motor fuel in rail tank cars in Germany approach 1.4 kilo tonnes per year (see Abbildung 1). This equals to 1/40 of the actual NMVOC emissions from total motor fuel distribution, even though 1/3 of motor fuel transports in Germany are carried out by railway.

Figure 2: Total emissions for transport and handling of motor fuel (current and prognosis for 2010)



Taking the emissions changes forecast up until 2010 into account, and under the assumption that no additional regulatory measures are introduced (business as usual), the maximum values shown in figure 1 would result.

Measures for the Prevention and Reduction of VOC Emissions

The emission situation described thus far makes it clear that the technical standards for rail tank cars and handling systems are already at a comparatively high level, and therefore the

potential for prevention and reduction measures is limited. Most of such measures pertain to the handling of motor fuel during the turnover process.

Through the combination of various technical, organisational and logistical measures, the current emission values could be lowered. The following measures for the reduction and prevention of emissions are conceivable:

- 7) Consequent implementation of the “best practice”.
- 8) Improvement of the efficiency of the exhaust air cleaning during inside cleaning of rail tank cars
- 9) Reduction of remaining liquid during emptying procedures
- 10) Filling by means of bottom loading
- 11) 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)
- 12) Improvement of the efficiency of the vapour recycling installation

Tabelle 1 shows a summary of the technical, financial, and ecological evaluation of possible measures for reducing VOC during transport and handling of motor fuel with rail tank cars.

Table 2: Technical, financial and ecological evaluation of possible measures for the reduction of VOC emissions

Possible Measures	Ecologically sensible?	Technically possible?	Economically sensible?
(1) Implementation of „best practice“	yes	yes	yes
(2) Improvement of efficiency of the exhaust air cleaning during inside cleaning of rail tank cars	yes (logging)	yes (logging)	yes (logging)
(3) Reduction of remaining liquid	yes	individually	uncertain
(4) Bottom-Loading	uncertain	yes	no
(5) Overpressure deflation junction	yes	yes	no
(6) Improvement of vapour recovery efficiency	uncertain	yes	no

From the evaluation the following becomes apparent:

- Not all relevant systems in Germany could be investigated during the course of the study. In the report, a “best practice” is described based on close consultation with

the project accompanying work group, and which, according to those involved, is well established in Germany. This "best practice" can be carried out economically in Germany. If for some reason individual rail tank cars or systems for loading, emptying or cleaning tanks do not fulfil the "best practice", then an attempt to implement the "best practice" should be realised.

- The improvement of capturing of emissions acquisition during the cleaning of tank interiors constitutes both a technically possible, as well as an ecologically and financially sensible measure.
- Technical measures for the reduction of residual motor fuel in the tanks (3) can in individual cases be both ecologically as well as financially sensible. Specific legislative measures, however, cannot be recommended due to cost-benefit relationships. All parties concerned should pay special attention that the guidelines in EN 12561 are followed, especially for new rail tank cars.
- The technical measures (4) and (5) would be ecologically sensible and technically possible, however, due to the relatively small reduction potential (< 1 kt) in comparison with the high financial costs, they are not recommendable.
- Technical measures for increasing vapour recycling efficiency (6) can be considered for individual cases, but general national measures are not be recommended due to cost-benefit considerations.
-