

Bericht

NMVOOC-Emissionen an Benzin- Tankstellen - Aktualisierung der Abschätzung für die Jahre 1990 - 2030

Prozess: Benzinumschlag Tankstellen

Yvonne Eggenberger
Andi Schneider

2101
Basel, November 2024
Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Luftreinhaltung und Chemikalien, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: luftkollektiv gmbh

Autor/Autorin: Yvonne Eggenberger, Andi Schneider

Begleitung BAFU: Simone Krähenbühl, Anouk Bass, Beat Müller, Philipp Hallauer, Giovanni D'Urbano

Hinweis: Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Ergebnis	4
1.1	Emissionsfaktor 2020	4
1.2	Historie Vollzug Tankstelle und Entwicklung des Emissionsfaktors	6
1.3	Vergleich alte Zeitreihe zu überarbeitetem Emissionsfaktor 2020.....	7
1.4	Unsicherheiten	8
2	Methodik.....	9
2.1	Teilquellen des Emissionsfaktors	9
2.2	Methodik Emissionsfaktoren Stützwerte 1990, 2002, 2010 und 2030.....	10
2.3	Parameter	10
2.4	Realitätsfaktor Tankstellen-Kontrollen.....	11
2.5	Historie Einführung der Druckvakuumventile an Unterflurtanks	13
2.6	Physikalische Abgrenzung	13
3	Teilquellen	14
3.1	Tropfverluste	14
3.2	Verschüttungsverluste	15
3.3	"Erfassungsgrad" Restemission Übergang Zapfventil - Tankstutzen	16
3.4	Anfangsschwall	17
3.6	Permeabilität Zapfschläuche	19
3.7	Betankung Schiffe inkl. Emissionen durch Kanisterbefüllung	20
3.8	Betankung Motorräder 4-Takt und Motorräder 2-Takt	21
3.9	Emissionen Strassentransport.....	22
3.10	Entlastung Tankfahrzeug vor Ablad	23
3.11	Emissionen durch Öffnung Tank zwecks Peilung vor Anlieferung	24
3.12	Rückstand Schläuche	25
3.13	Anlieferung wärmeres Benzin.....	26
3.14	Undichte Stufe I; Emissionen bei Anlieferung	27
3.15	Undichte Stufe I; Atmungsverluste auf Grund Temperaturanstieg	28
3.16	Einfluss Gasrückführung ungleich 100 %.....	29
4	Potential Emissionsreduktion.....	30
4.1	Gruppierung der Teilquellen	30
4.2	Ideen-Katalog luftkollektiv gmbh zur Emissionsreduktion.....	32
5	Quellen – und Literaturverzeichnis	34

1 Ergebnis

1.1 Emissionsfaktor 2020

Ziel des Projektes war, den Emissionsfaktor des Jahres 2020 für das System Tankstelle in einem sehr hohen Detaillierungsgrad zu überarbeiten. Die Systemgrenze des Emissionsfaktors 2020 beginnt ab Verlassen des Tanklagers durch das Tankfahrzeug und endet beim Einhängen der Zapfpistole¹.

Als Berechnungsgrundlage für den Emissionsfaktor des Jahres 2020 wurde von der Firma luftkollektiv gmbh ein Bottom-up-Modell entwickeltⁱ, welches anhand der ermittelten Teilquellen des Systems Tankstelle den Emissionsfaktor bildet. Grundlagen hierzu lieferten zahlreiche Interviews mit der Branche, Literaturstudien und eine empirische Umfrage bei den Schweizer «MesstechnikerInnen Gasrückführung (GRF) an Benzintankstellen». Die Teilquellen sowie deren Berechnungsgrundlagen für die Emissionsfaktoren sind in Kapitel 3 ausführlich beschrieben. Im dazugehörigen Excel «Modell_Emissionsfaktor Tankstelle» sind die Berechnungen transparent einsehbar.

Der Emissionsfaktor für das Jahr 2020 für Tankstellen liegt bei **980 Gramm Benzindampf pro Tonne** umgeschlagenem Benzin, respektive 23.01 Gramm Benzindampf pro Gigajoule umgeschlagenem Benzin. Die anhand des Umschlags gemäss Gesamtenergiestatistik und dem Emissionsfaktor ermittelte Emissionsfracht kommt bei **1974 Tonnen Benzindampf ± 40 %** zu liegen. Der Benzinabsatz an Schweizer Tankstellen, abzüglich der Verluste in Tanklager, lag im Jahr 2020 bei 2'013'264 Tonnenⁱⁱ.

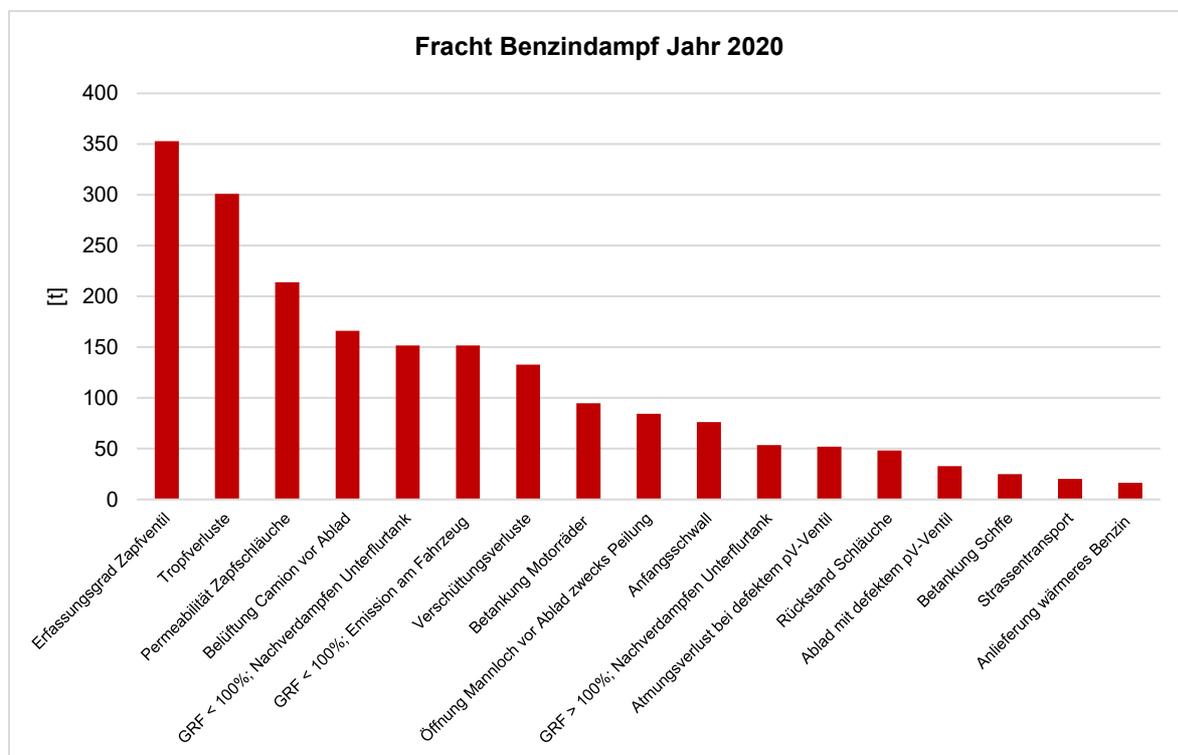


Abbildung 1 Verteilung Emissionsfracht Benzindampf Jahr 2020 auf ermittelte Teilquellen aus dem System Tankstelle, Unsicherheit ± 40 %

¹ Der gesamte Bereich Tanklager inklusive Emissionen beim Befüllen der Tankfahrzeuge ist im Bericht «Untersuchung der historischen VOC-Emissionen aus Benzin-Tanklagern», erstellt durch CARBURA Jahr 2021 im Auftrag des BAFU, erfasst.

Der Emissionsfaktor von 980 g/t setzt sich aus den folgenden Teilquellen zusammen:

Tabelle 1 Teilquellen Emissionsfaktor Tankstelle Jahr 2020 gemäss Modell luftkollektiv gmbh

Teilquellen	g/t
Tropfverluste Betankung	149
Verschüttungsverluste	66
Übergang Tankstutzen Zapfventil; Erfassungsgrad der Zapfpistole	175
Anfangsschwall / Verzögerung Einsetzen der Gasrückführung	38
Permeabilität Zapfschläuche	106
Schiffe (Emission an Tankstelle und bei Kanisterbefüllung)	12
Motorräder 4-Takt + Motorräder 2-Takt (Emission an Tankstelle und bei Kanisterbefüllung)	47
Strassentransport	10
Entlastung Kammern Tankfahrzeug vor Benzinablad an Tankstelle	83
Öffnung Mannloch vor Benzinablad zwecks Füllstandmessung	42
Rückstand in Schläuchen nach Benzinablad (Flüssigbenzin und Gasrückführung)	24
Anlieferung wärmeres Benzin	8
Emission aus Tank auf Grund Nachverdampfen Gasrückführung < 100%	75
Emission aus Tank auf Grund Nachverdampfen Gasrückführung > 100%	27
Ablad mit defektem oder nicht vorhandenem pV-Ventil	16
Atmungsverlust bei defektem oder nicht vorhandenem pV-Ventil	26
Emission bei Fahrzeugtank, GRF < 100%	75
Total Emissionsfaktor Tankstelle	980

1.2 Historie Vollzug Tankstelle und Entwicklung des Emissionsfaktors

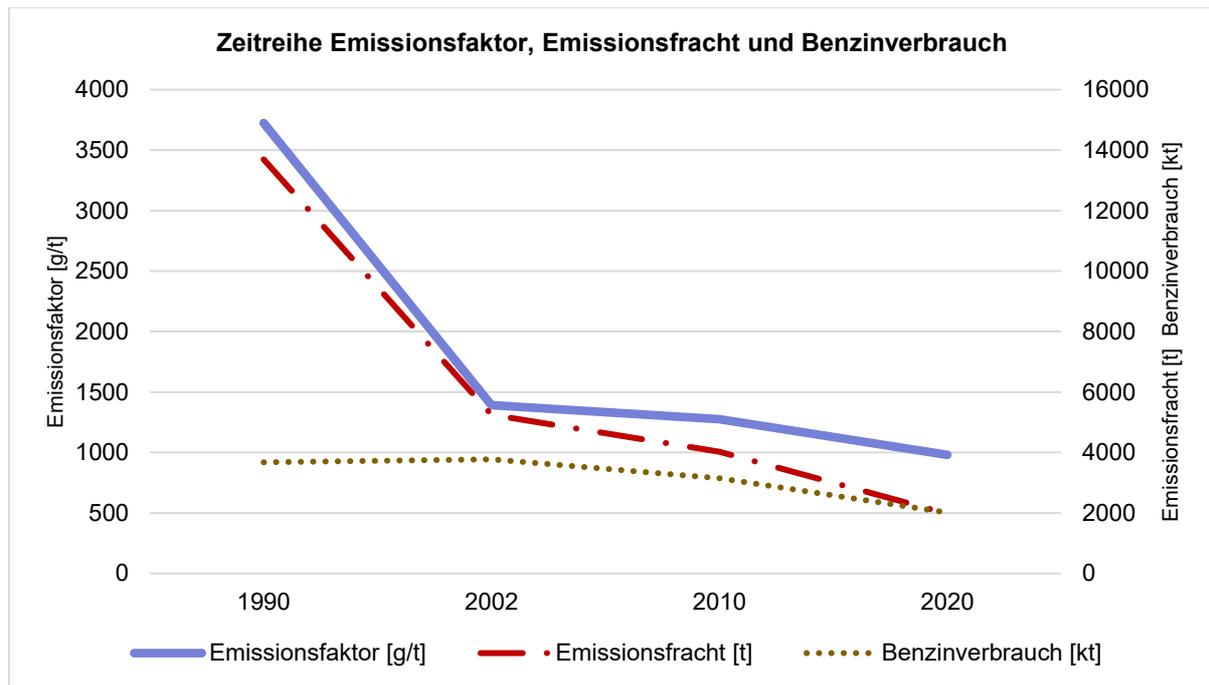


Abbildung 2 Verlauf Emissionsfaktor, Emissionsfracht und Benzinverbrauch an Schweizer Tankstellen

Nach Revision der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) im Jahr 1992 wurden die Tankstellen sukzessive mit Gasrückführsystemen der Stufe II ausgerüstet.

Gleichzeitig mit der Sanierung der Gasrückführsysteme Stufe II wurden auch Gaspendelleitungen an Stufe I (Benzinablad durch Tankfahrzeug) gefordert.

An einigen Tankstellen wurden ebenfalls von Beginn weg Druckvakuum-Ventile an den Überdruckleitungen der Unterflurtanks verbaut. Bis Ende der 1990er-Jahre wurden fehlende Druckvakuum-Ventile aber gemäss Auswertung der Kontrollrapporte durch das Tankstelleninspektorates des AGVS wohl noch toleriert. Anfangs der 00er-Jahre wurde dann die Situation bezüglich Druckvakuum-Ventile strenger beurteilt. So musste nicht nur zwingend ein Druckvakuum-Ventil verbaut sein, sondern dieses musste auch qualitativ gut sein.ⁱⁱⁱ

Ab dem Jahr 2017 wurden periodische Dichtheitstest der Stufe I in die LRV-Kontrolle aufgenommen. Vor 2017 wurden keine systematischen Druckprüfungen durchgeführt und es liegen entsprechend keine Rapporte dafür vor. Einige MesstechnikerInnen führten visuelle Kontrollen auf Flimmern am Druckvakuumventil durch, jedoch auf freiwilliger Basis.

Die periodischen Kontrollen der Gasrückführsysteme verbesserten die Qualität und Effektivität der Gasrückführungen. Totalausfälle wurden durch technische Verbesserung vermindert und später anhand selbstüberwachter Zapfsäulen rascher erkannt.

Seit dem Jahr 2018 ist es erlaubt, beim Benzinablad auf eine manuelle Peilung zu verzichten und auf elektronische Ablese-Systeme zu vertrauen^{iv}. Vorher war eine manuelle Peilung Pflicht, was eine Öffnung des Mannlochs bedingte. Die Verbauung von elektronischen Ablesesystemen ist zunehmend, aber noch nicht weit fortgeschritten.

1.3 Vergleich alte Zeitreihe zu überarbeitetem Emissionsfaktor 2020

Im Vergleich zu den bis zu dieser Arbeit vorliegenden Zahlen zeigt sich der neu überarbeitete Emissionsfaktor Jahr 2020 mehr als doppelt so hoch (Faktor 2.5) wie mit der alten Methodik (Weyer und Partner, 2011). Auf dieser Grundlage wurden in einem weiteren Schritt auch die Stützwerte der Jahre 1990, 2002, 2010 und 2030 mittels der neuen Methodik berechnet, sodass die bestehende Zeitreihe der EMIS-Datenbank^v korrigiert werden kann.

Dafür wurden alle Parameter der Teilquellen für den Emissionsfaktor Jahr 2020 im Bottom-up-Modell auf die Anwendbarkeit für die jeweiligen Stützjahre 1990, 2002, 2019, 2030 überprüft und wenn nötig einzelne Parameter für gewisse Stützjahre angepasst.

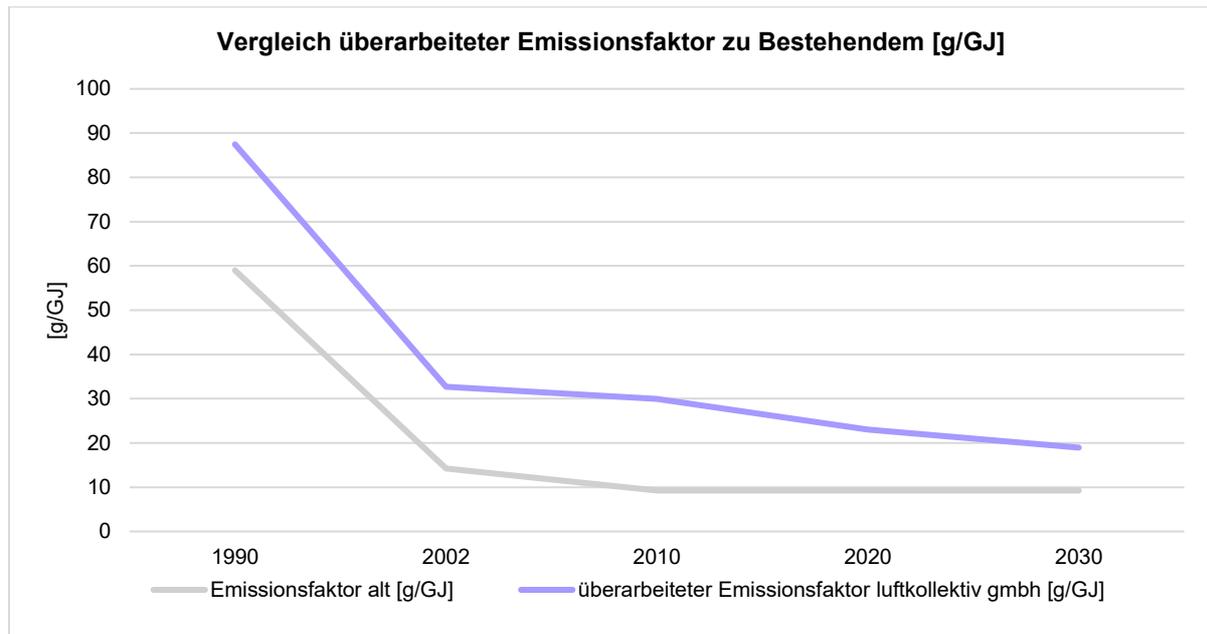


Abbildung 3 Vergleich Emissionsfaktor alt zu überarbeitetem Emissionsfaktor luftkollektiv gmbh

Der Stützwert 1990 wurde im Vergleich zum neu modellierten Emissionsfaktor um rund Faktor 1.5 unterschätzt. Dieser Stützwert repräsentiert die Zeit vor der LRV-Umsetzung, folglich ohne Gasrückführung beim Betanken (Stufe II), ohne Druckvakuumventile auf den Unterflurtanks und ohne Gaspendelleitungen zwischen dem Tankfahrzeug und dem Unterflurtank beim Benzinablad (Stufe I). Im Unterschied zu den alten Grundlagen des Emissionsfaktors hat das überarbeitete Modell diverse weitere Teilquellen berücksichtigt, welche nicht direkt durch die LRV reglementiert sind. Weitere Teilquellen waren in den alten Berechnungen nicht berücksichtigt. In Folge dessen wurden auch die Stützwerte der Folgejahre unterschätzt: Der Stützwert für das Jahr 2002 wurde um Faktor 2.3 unterschätzt, der Stützwert Jahr 2010 um circa Faktor 3.2 und der Prognosewert Jahr 2030 um Faktor 2 unterschätzt.

Der Emissionsfaktor liegt aktuell bei 980 g/t und er verbessert sich zunehmend, wobei eine Prognose für das Jahr 2030 noch rund 20 Prozent des Emissionsfaktors im Vergleich zum Zustand ohne Massnahmen (Stützwert Jahr 1990) ergibt.

1.4 Unsicherheiten

Die minimale und maximale Emissionsfracht jeder Teilquelle wurde anhand der recherchierten Parameter berechnet. Konnten die beiden Werte nicht rechnerisch bestimmt werden, wurde auf die Standards gemäss «EMEP, Uncertainties, Version Guidebook 2019, Tabelle 2-2» zurückgegriffen.

Für die Abschätzung der Unsicherheit des Endresultates wurden drei verschiedene Varianten berechnet, welche zwischen 16 und 42 % liegen. Es wird die gerundete maximale Unsicherheit von $\pm 40\%$ verwendet.

Die Herleitung zur Berechnung der Unsicherheiten sind im Anhang 1 zum Bericht dargestellt.²

² «Herleitung der Unsicherheitsberechnung für die Emissionsabschätzung an Tankstellen» erstellt von Myriam Guillevic, BAFU, begutachtet von Simone Krähenbühl, BAFU, und dazugehörige Datei «Tankstellen_uncertainty_app1_app2_final_20230912».

2 Methodik

2.1 Teilquellen des Emissionsfaktors

Die Grundlagen der Teilquellen im Modell stammen aus Interviews oder Besichtigungen oder wurden mittels physikalischer Gesetze berechnet:

Zum Stand der Technik der Peilung (Füllstandsablesung Unterflurtank) und der Tankgrössen an Tankstellen sowie Umschlagsmengen wurden die meisten Schweizer Tankstellenbetreiber angeschrieben. Coop Mineralöl, Migrol, Agrola, Avia und Socar konnten Angaben zur Verfügung stellen. Diese Informationen bildeten unter anderem Grundlage für Füllstände und Emissionen bei der Füllstandsablesung.

Avenergy sowie das Tankstelleninspektorat des AGVS lieferten statistische Details und eine Einschätzung aus der Branche.

Zur Bestimmung der Teilquelle «Anfangsschwall» wurde eine empirische Umfrage an alle MesstechnikerInnen «Gasrückführung an Benzintankstellen der Schweiz» versandt, um die Emissionen des Phänomens «verzögertes Einsetzen der Gasrückförpumppe» zu bestimmen.

Zum Verständnis der periodischen Kontrolle einer Tankstelle (Messung Gasrückführung und Dichtheitsprüfung) wurde eine Messung der Firma KSW begleitet.

Der Benzinablad durch ein Tankfahrzeug konnte mit der Firma Traveco an einer Tankstelle mit manueller Peilung besichtigt werden.

Für die technischen Details der Tankfahrzeuge und davon ausgehende Emissionen unter Fahrt (Teilquelle «Strassentransport») und vor dem Ablad (Teilquelle «Entlastung Tankfahrzeug vor Ablad») wurde die Tankfahrzeuge-Herstellerfirma Kasag befragt.

Für den Stand der Technik und die zu erwartenden Emissionswerte bei Zapfpistolen und «Permeabilität der Zapfschläuche» konnte die Herstellerfirma Elaflex Auskunft geben.

Für Auskünfte zu Wirkungsgrad sowie Zulassung von Zapfpistolen stand der TÜV-SÜD zur Verfügung (Teilquelle «Übergang Tankstutzen Zapfventil; Erfassungsgrad»).

Betreiber einer Bootsschule und eines Hafens gaben Auskunft zu Emissionen und Praxis bei der Betankung von Booten.

Durch Einschätzung zweier Motorradfahrer sowie bei der Besichtigung der Tankstelle konnte die Praxis der Betankung von Motorrädern in Erfahrung gebracht werden.

Die Teilquellen «Strassentransport», «Tropfverluste Betankung», «Verschüttungsverluste», «Ablad mit defektem pV-Ventil» und «Erfassungsgrad» konnten auf Literaturwerte abgestützt werden. Ansonsten wurde auf normierte Werte (DIN EN) zur Bestimmung der Maximalemission zurückgegriffen.

Für die Teilquellen «GRF kleiner/grösser 100%» und «Ablad mit defektem pV-Ventil» und «Atmungsverlust bei defektem pV-Ventil» wurden die Ergebnisse aus unangemeldeten Stichproben der Kantone verwendet. Die Statistiken des Tankstelleninspektorates wurden im Rahmen dieses Projektes ebenfalls interpretiert. Die Messungen des Tankstelleninspektorates zur Dichtheitsprüfung finden offiziell gemäss Vorgabe erst nach Austausch von defekten Dichtungen statt. Das heisst, der Zustand widerspiegelt ein revidiertes System «nach Service» und nicht den Zustand, der sich unter Umständen über mehrere Monate mit Mängeln hält. Die unangemeldeten Stichproben repräsentieren dagegen den angetroffenen Zustand.

2.2 Methodik Emissionsfaktoren Stützwerte 1990, 2002, 2010 und 2030

Für die Berechnung der Emissionsfaktoren der Zeitreihe wurden im Gegensatz zum Stützwert für das Jahr 2020 nicht die Emissionsfrachten der einzelnen Stützwertjahre berechnet, sondern der Emissionsfaktor 2020 an die Gegebenheiten der Vergangenheit oder Zukunft angepasst. Die Überlegungen sind in den einzelnen Teilquellen beschrieben.

2.3 Parameter

Anzahl Tankstellen und Anzahl Zapfhähne

Für das Jahr 2021 liegt eine Auswertung des AGVS über den Bestand der Zapfhähne vor^{vi}. Für die anderen Jahre wurde das Verhältnis der Anzahl Zapfhähne pro Tankstelle von 6.3 angewendet, welches anhand der Zahlen aus dem Jahr 2021 ermittelt wurde. Zur Plausibilisierung des Faktors 6.3 wurde mit dem AGVS und Avenergy Rücksprache gehalten. Der AGVS hat für die Anzahl gemessener Zapfhähne zu Anzahl gemessener Tankstellen ein Verhältnis von 4.5 - 5 über die Jahre berechnet, Avenergy rechnet mit einem Verhältnis von 8. Die Unsicherheit der durchschnittlichen Anzahl Zapfhähne pro Tankstelle liegt bei maximal 30 %.

Umgang mit variablen Füllständen und Anliefermengen

Das Tankstellenmanagement zielt darauf ab, für jede individuelle Tankstelle den wirtschaftlichen Betrieb sicherzustellen. Wie aus den Interviews mit den Tankstellenbetreibern klar hervorging, wird keine Tankstelle vergleichbar mit einer anderen betrieben. Die Füllstände vor der Anlieferung sind genauso variabel (Füllstand vor Anlieferung 20 % - «so dass es für das stark frequentierte Wochenende voll ist») wie die Tankgrößen, die Mengen pro Anlieferung und die Anzahl Anlieferungen pro Jahr.

Dies erschwerte Berechnungen, in die Parameter wie Anlieferungsmengen und Füllstände einfließen, erheblich. Um dem gerecht zu werden, wurden für das Bottom-up-Modell teilweise folgende Vereinfachungen angenommen:

durchschnittliche Liefermenge:	15'050 l
durchschnittliche Anlieferungen Jahr 2020:	173'729
Maximal angelieferte Menge:	37'000 l
Durchschnittliche Betankungsmenge:	32.5 l
Betankungsvorgänge Jahr 2020:	61'946'585

Abschätzung bei Atmungsverlusten:

Die Abschätzung wurde als isolierte Fracht durchgeführt. In Realität ist dies jedoch ein dynamischer Vorgang. Es kann keine Aussage über Tagesgänge in Abhängigkeit von der Anzahl Betankungen, den Temperatur- oder Druckschwankungen gemacht werden. Auch wurde keine zu erwartende Konzentration in der Abluft ermittelt.

Überlagerungseffekte beispielsweise von Zapfsäulen mit mehr und mit weniger als 100 % Gasrückführung an demselben Unterflurtank können nicht berücksichtigt werden. Es handelt sich um eine isolierte Abschätzung, die eine Größenordnung der Emission abbildet. Interessant wären Messungen an den Überdruckleitungen für die Ermittlung des Tagesganges.

2.4 Realitätsfaktor Tankstellen-Kontrollen

Beigezogene Statistiken zur Grundlage der Gasrückführungsquote und Anzahl undichter Tankstellen

19 Kantone sowie das Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL haben im Jahr 2020 ihre Vollzugskontrolle an das Tankstelleninspektorat delegiert.

Das Tankstelleninspektorat des AGVS stellte dem BAFU Auswertungen der **Gasrückführmessungen** der Jahre 2021, 2018, 2017, 2016, 2015, 2010, 2009 und 2008 vor. Ebenfalls wurden die Auswertungen der Prüfung der **Stufe I** (Dichtheitsprüfung) der Jahre 2017 - 2020, koordiniert durch das Tankstelleninspektorat, zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen des Projekts wurden alle Kantone durch luftkollektiv gmbh angefragt, ob ausserhalb der delegierten, periodischen Messungen unangemeldete Stichproben in den letzten Jahren durchgeführt wurden. Die Kantone Bern (2017), St. Gallen (2019) und Thurgau (2018, 2016-2017) meldeten grossflächige Durchführung von Stichproben in den in Klammern angegebenen Jahren. Die Kantone Luzern und Wallis gaben an, mittels Schnelltester unangemeldete Stichproben an der Gasrückführung von Tankstellen jährlich durchzuführen.

Die unangemeldeten Stichproben vergleichen sich wie folgt gegenüber den AGVS-Messungen:

Realitätsfaktor Kontrollen Stufe II (Gasrückführung)

844 Zapfhähne in unangemeldeten Stichprobenkontrollen in einem Zeitraum von 4 Jahren stehen rund 10'000 jährlich durch das Tankstelleninspektorat koordinierten angemeldeten Messungen gegenüber. Die Auswertung der AGVS-Kontrollen ergibt eine Beanstandungsquote von **ca. 3 %** für **selbstregulierende und selbstüberwachte Säulen** und rund 6.3 % für aktive Systeme, also ohne Funktionssicherung. Die Beanstandungsquote der kantonalen Stichproben der Stufe II liegen im Mittel bei 55 % (Säulen ohne Überwachung), bei 11 - 43 % für selbstüberwachte Säulen und bei bis zu **10 - 27 % für selbstregulierende Systeme**.

Die Beanstandungsquote der Systeme ohne Funktionssicherung gegenüber jener von überwachten Systemen liegt bei beiden Statistiken ca. um Faktor 2 höher. Erwartungsgemäss haben selbstkalibrierende Systeme die kleinste Beanstandungsquote. Erfreulich ist, dass auch bei den unangemeldeten Stichprobenmessungen der Gasrückführung eine Verbesserung der Ergebnisse bei neueren Systemen erkennbar ist.

Der Kanton Luzern hat jährlich 10-20 Tankstellen durch ein externes Büro mittels Schnelltester kontrollieren lassen, was eine Beanstandungsquote von 0 % ergab. Im Kanton Wallis wurden in den letzten zehn Jahren zusätzlich zu den koordinierten Kontrollen jährlich rund 10 Tankstellen mittels Schnelltester geprüft. Die Beanstandungsquote der rund 20-50 Zapfpistolen lag bei 0 - 3 %. Es wird eine rein qualitative Aussage gemacht.

Einfluss auf Emissionsfaktor

Für die Berechnung des Emissionsfaktors wurde auf Grund der Abweichung von rund Faktor 3-10 der AGVS-Messungen gegenüber den unangemeldeten Stichproben der Kantone konservativ die Verteilung der Gasrückführkategorien der unangemeldeten Stichproben der Kantone verwendet. Für das Jahr 2020 bedeutet dies:

- 77 % der Zapfhähne liegen im LRV-konformerem Bereich,
- 1 % Gasrückführung 0 % (Totalausfall),
- 1 % Gasrückführung 10 – 40 %,
- 2 % Gasrückführung 40 – 85 %,
- 14 % Gasrückführung 85 – 93 %,
- 4 % Gasrückführung >107-115 % und
- 1 % > 115%

(Details Excel Modell Blatt GRF kleiner grösser 100% Zeilen 39 – 47)

Realitätsfaktor Kontrollen Stufe I (Dichtheitsprüfung)

Diese grossflächigen Kontrollen der Dichtheit wurden ab 2017 im Dreijahres-Intervall eingeführt. Auf Grund des Dreijahres-Intervalls liegt für die meisten Tankstellen nur ein Messwert vor und es ist daher schwierig, eine Aussage über Langzeitstabilität zu machen.

Die Beanstandungsquote der **Stufe I** «Druckverlust vorhanden/kein Druckaufbau möglich» liegt massiv höher, als die der AGVS-Auswertung, nämlich bei **rund 29 %**, im Gegensatz zur AGVS-Statistik von **rund 3 %**. Die Ursache liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit darin, dass die AGVS-Messungen offiziell erst nach Austauschen von defekten Dichtungen durchgeführt werden. Das heisst, der Zustand widerspiegelt ein revidiertes System «nach Service» und nicht den Zustand, der sich unter Umständen über mehrere Monate mit Mängeln hält. Die unangemeldeten Stichproben repräsentieren hingegen den angetroffenen Zustand.

Einfluss auf Emissionsfaktor

Es werden im Modell in allen Teilquellen, wo undichte Tankstellen Einfluss haben, die Zahlen der unangemeldeten Stichproben verwendet, da diese den angetroffenen Zustand repräsentieren.

Die AGVS-Messungen zeigen die Dichtheit nach Service.

Die Abweichungen der unangemeldeten Stichproben zu den Auswertungen der Messwerte in der Datenbank haben bei der Emissionsabschätzung der Teilquellen «Gasrückführung nicht gleich 100 %» sowie bei Atmungsverlusten undichter Tankstellen (Teilquellen «Ablad mit defektem pV-Ventil» und «Atmungsverlust bei defektem pV-Ventil») Bedeutung.

2.5 Historie Einführung der Druckvakuumventile an Unterflurtanks

Nach der Revision der LRV im Jahr 1992 wurden die Tankstellen sukzessive mit Gasrückführsystemen der Stufe 2 ausgerüstet. An einigen Tankstellen wurden gleichzeitig Druckvakuumventile verbaut. Bis Ende der 90er-Jahre wurden fehlende Druckvakuumventile noch toleriert. Ein Blick auf Kontrollrapporte aus den späteren 90er-Jahren bestätigt, dass es Tankstellen mit und solche ohne Druckvakuumventile gab, wobei beides als konform eingestuft wurde. Anfangs der 00er-Jahre wurde dann die Situation bezüglich Druckvakuumventilen strenger beurteilt. So musste nicht nur zwingend ein Druckvakuumventil verbaut sein, sondern dieses musste auch qualitativ gut sein. Dazu gab es eine Liste mit zulässigen Druckvakuumventilen. Diese Liste war nötig, da es einige Produkte gab, deren Qualität nicht ausreichend war. In den Berechnungen der Atmungsverluste wird die zeitliche Entwicklung der Verwendung von Druckvakkumventilen in den Stützwerten berücksichtigt. ⁱⁱⁱ

2.6 Physikalische Abgrenzung

Die dem Bottom-up-Modell zu Grunde liegenden physikalischen Parameter sind im Modell einsehbar. Sämtliche Berechnungen wurden pauschal für «Benzindampf» angestellt. Es gibt keine Unterscheidung der Zusammensetzung der Dampfphase.

Die Sättigung der Dampfphase wurde analog dem Vorgänger-Projekt (Weyer und Partner) bei 1.05 g/l gewählt mit einem Sättigungsgrad von 100 %, ausser bei Emissionsberechnungen während dem Einlagerungsprozess. Hier wurde ein Sättigungsgrad von 85 % angewendet.

3 Teilquellen

3.1 Tropfverluste

Emissionsfaktor 2020

Für die Bestimmung der Tropfverluste nach dem Betankungsvorgang konnten drei unabhängige Quellen ^{vii viii ix} ausfindig gemacht werden.

Mit dem Hersteller Elaflex konnte über den Stand der Technik und die Historie der Tropfverluste ein Interview geführt werden. Die neueste Generation Zapfventile emittiert gemäss Angabe des Herstellers nur rund 10% der gemäss DIN 13012 zugelassenen Menge von 10 ml pro Betankung, folglich 1 ml pro Betankung. Dieser Wert kann aber nur erreicht werden, wenn das Zapfventil nach der Betankung ständig senkrecht nach oben gehalten wird. Der Wert der Zulassung hingegen beinhaltet auch das «Leerlaufen-lassen» der Zapfpistole in herunter gehaltener Position, was in der Praxis selten vorkommt. Einen weiteren Wert liefert eine Publikation aus dem Jahr 2005, welche einen Verlust von 0.008-0.014% beschreibt.

Für die Abschätzung der Emissionen wurde angenommen, dass jede Betankung mit der durchschnittlichen Betankungsmenge von 32.5 l durchgeführt wird.

Mittels der durchschnittlichen Betankungsmenge von 32.5 Liter pro Betankung und einem mittleren Emissionsfaktor der drei Quellen wurde die Jahresfracht von 301 t für das **Jahr 2020** berechnet. Die Emissionen liegen in einer Bandbreite von **62-620 t** im Jahr 2020. Der mittlere Emissionsfaktor liegt bei **150 g/t**.

Zukunftsprognose

Es wird davon ausgegangen, dass ab dem Jahr 2030 mehrheitlich die neuste Generation Zapfpistolen verbaut sein wird. Für die Berechnung wird von einer Emission von 1 ml/Betankung ausgegangen. Die Emissionen senken sich dadurch um rund 80 %. Der Emissionsfaktor kommt auf 31 g/t zu liegen.

Historische Betrachtung

Für die Jahre 2010, 2002 und 1990 wird davon ausgegangen, dass die optimierten Zapfpistolen noch nicht auf dem Markt waren und der Mittelwert aus den zwei älteren Quellen ohne den Wert der neuesten Generation Zapfpistolen gültig war. Der Emissionsfaktor beläuft sich auf 209 g/t.

3.2 Verschüttungsverluste

Emissionsfaktor 2020

Für die Verschüttung durch unvorsichtiges Handling an der Zapfsäule konnten zwei Literaturquellen ^{x xi} ausfindig gemacht werden (40 mg/l getanktem Kraftstoff sowie 0.08 kg/t getanktem Kraftstoff).

Die Emissionsfracht Jahr 2020 wurde durch den Mittelwert der beiden Literaturquellen berechnet und liegt bei **133 t/a**. Die Emissionen liegen in einer Bandbreite von 105 bis 161 t im Jahr 2020. Der mittlere Emissionsfaktor liegt bei **66 g/t**.

Ergänzend hat die luftkollektiv gmbh zur Plausibilisierung eine Überschlagsrechnung gemacht (Annahme jeder 20. Tankkunde verschüttet rund 30 ml). Die beiden Werte liegen in derselben Grössenordnung.

Zukunftsprognose

Zu einer Emissionsreduktion könnte Sensibilisierung beitragen. Bei weniger Betankungen sinken die Verschüttungsverluste anteilmässig, der Emissionsfaktor würde sich dadurch nicht verändern. Der Emissionsfaktor wird für den Stützwert Jahr 2030 als konstant bei 66 g/t belassen.

Historische Betrachtung

Es ist davon auszugehen, dass der Wert über die Zeitreihe konstant ist, da keine technischen Massnahmen dagegen existieren. Der Emissionsfaktor für die Stützwerte 1990, 2002 sowie 2010 liegt bei 66 g/t.

3.3 "Erfassungsgrad" Restemission Übergang Zapfventil - Tankstutzen

Emissionsfaktor 2020

Die Benzindampfabscheidungseffizienz der «Quellenerfassung» der Gasrückführung ist in der Richtlinie 2009/126/EG, Artikel 4, gemessen nach EN 16321-1, bei mindestens 85 % festgelegt, was einer Restemission von 150 mg/betanktem Liter Benzin entspricht.

Selbst bei einer idealen Gasrückführung von 100 % werden nicht 100 % der Gase abgesogen. Die Emission tritt kontinuierlich über den Betankungsvorgang auf.

Gemäss Interview mit Herrn von Elterlein-Szalata, TÜV SÜD, sind mit neuesten und aktuell immer häufiger verbauten Systemen bessere Werte als der Zulassungswert zu erreichen. Die Bandbreite der beobachteten Emissionen liege bei 70-140 mg/betanktem Liter und es könne mit einem Wert von 120 mg/betanktem Liter gerechnet werden. ^{xii}

Die daraus ermittelte Jahresfracht für das **Jahr 2020** liegt bei **353 t** mit einer Bandbreite von 314 - 392 Tonnen, wobei die untere Bandbreite als Minimalemission mit optimierten Systemen zu verstehen ist und die Maximalemission als worst case.

Der mittlere Emissionsfaktor für das Jahr 2020, gebildet aus 150 mg und 120 mg Verlust pro betanktem Liter, liegt bei **175 g/t**.

Zukunftsprognose

Die Emissionen werden sinken, da der Anteil an neuen Fahrzeugen mit idealen Einfüllstutzen steigen wird. Der Emissionsfaktor für den Stützwert 2030 wird auf 167 g/t geschätzt.

Historische Betrachtung

Für den Stützwert 1990 wird das 1.5-fache des Grenzwertes gemäss der Richtlinie 2009/126/EG angenommen, was einen Emissionsfaktor von 292 g/t ergibt. Für die Stützwerte 2002 und 2010 wird der Wert der Zulassung zur Berechnung des Emissionsfaktors vorn 195 g/t verwendet.

3.4 Anfangsschwall

Diese Emissionsquelle beschreibt ein insbesondere von Messtechnikern beobachtetes Phänomen, das zeigt, dass die Pumpe der Gasrückführung verzögert zum Benzinfluss einsetzt. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine empirische Umfrage an alle MesstechnikerInnen «Gasrückführung an Benzintankstellen der Schweiz» versandt. Die Messtechniker wurden gebeten, die Verzögerung des Einsetzens der Gasrückförhpumpe nach Starten des Betankungsvorgangs zu bewerten. Die Verzögerung beträgt bis zu 4 Liter betankter Menge. Der Rücklauf der Umfrage lag bei 10 %, die Antworten zeigen die klare Tendenz, dass der Anfangsschwall bedeutsam ist.^{xiii}

Auch bei der Besichtigung der Tankstellenkontrolle^{xiv} durch luftkollektiv gmbh und BAFU konnte die Beobachtung gemacht werden. Die Liter-Anzeige an der Zapfsäule läuft bereits, jedoch zeichnet das GRF Messgerät noch keinen Gasfluss auf. Als Folge werden die ersten verdrängten Liter Benzindampf nicht in den Unterflurtank der Tankstelle zurückgeführt, sondern direkt in die Atmosphäre emittiert. Die Emission ist unabhängig von der betankten Menge und findet vor dem Einsetzen der Gasrückförhpumpe statt.

Bei der Zulassungsprüfung des TÜV-Süd der Gasrückführungen nach DIN 16321 wird der gesamte Benzindampfverlust auf Aktivkohle aufgefangen, einmal mit und einmal ohne Gasrückführung und daraus der Wirkungsgrad gebildet. Die Anlagen sind demnach trotz zeitlicher Verzögerungen im Norm-Bereich bezüglich des zugelassenen Wirkungsgrades. Für die Jahresfracht ist die Emission des Anfangsschwalls dennoch relevant, da die Berechnung mittels Wirkungsgrades nur eine durchschnittliche konstante Verlust-Menge über den ganzen Betankungsprozess ergibt. Der Anfangsschwall tritt nur bei den ersten Litern auf, dafür mit einer rund zehnmal höheren Emission von rund 1'000 mg/betanktem Liter gegenüber der rund 120 mg/betanktem Liter konstanter Emission.

Von Bedeutung ist diese Emission, da der Tankkunde in der Nähe der mit Benzindampf gesättigten verdrängten Luft steht und diese einatmet. Weiter wird diese Menge emittierter Benzindampf bei der periodischen Kontrolle nicht erfasst, da nebst dem verspäteten Einsetzen der Pumpe ein in gleicher Höhe zeitlich verzögertes Ausschalten (Nachlaufen) der Pumpe Praxis sei. Mit der aktuellen Messmethodik wird dieser Effekt nicht berücksichtigt, sondern im Total ausgeglichen.

Emissionsfaktor 2020

Die Zeit der Verzögerung bis die Pumpe der Gasrückführung einsetzt ist abhängig von den verbauten Systemen. Um Korrelationen zu finden, wurden alle Messtechniker des Tankstelleninspektorats der Schweiz angeschrieben und gebeten, ihre Beobachtung anzugeben. Von fünf Messtechnikern konnten wir konkrete Angaben entgegennehmen, von den restlichen blieb eine Rückmeldung aus. Es wurden von 0-4 l Verzögerung berichtet, abhängig vom Zapfsäulen-Hersteller, bis die Pumpe der Gasrückführung einsetzt.

Bis zum jetzigen Zeitpunkt konnte noch keine deutliche Erklärung für die Verzögerung gefunden werden. Es gibt Hinweise, dass es sich um ein Software-Thema handelt ^{xv}. Es konnte kein Gespräch mit einem Hersteller geführt werden.

Die Bandbreite der Benzindampfemissionen auf Grund verzögertem Einsetzen der Gasrückförhpumpe liegt im **Jahr 2020 bei 76 Tonnen** mit einer Bandbreite von 31-122 t/a. Für die Minimalemission wurde mit 0.5 l Verzögerung, für die Maximalemission mit 2 l Verzögerung gerechnet. Für die Verteilung des Gesamt-Benzinabsatzes wurde geschätzt, dass rund 50 % grosse Betankungsmengen (45 l) und 50 % kleine Betankungsmengen (15 l) sind. Da die Emission des Anfangsschwalles zum Teil redundant zur Emission des Wirkungsgrades ist, fließt die mittlere Fracht des Anfangsschwalles nur zur Hälfte in die Gesamtfracht ein. Emissionsfaktor liegt bei **38 g/t**.

Zukunftsprognose

Keine Veränderung, Emissionsreduktion bei Problemlösung denkbar. Emissionsfaktor für Stützwert Jahr 2030 bleibt bei 38 g/t eingeschätzt.

Historische Betrachtung

Keine Veränderung prognostizierbar, Wert Emissionsfaktor für die Stützwerte 1990, 2002 und 2010 bei 38 g/t konstant, für den Stützwert 1990 gilt 0 g/t, da noch keine Gasrückführsysteme verwendet worden sind.

3.6 Permeabilität Zapfschläuche

Emissionsfaktor 2020

Nach DIN EN 13483, Tabelle 4, darf die Kraftstoff-Permeation des Schlauchs 12 ml/Meter/Tag nicht überschreiten^{xvi}. Zur Abschätzung der realen Benzindampfemissionen durch Permeabilität der Zapfschläuche wurde mit der Herstellerfirma Elaflex^{ix} ein Interview geführt. Herr Kunter gab an, dass gemäss seiner Erfahrung kein Material aus dem Haus Elaflex derart hohe Permeabilitätsraten aufweise, wie gemäss Prüfverfahren zugelassen wäre. Er erläuterte, dass die Prüfung nach DIN EN 13483 bei einem deutlich höheren Druck durchgeführt wird, als unter Realbedingungen beim Tankvorgang Druck auf die Schläuche einwirkt (Prüfung 3 bar, Real-Betankung 1 bar Überdruck, nach dem Einhängen der Schläuche ca. 300 mbar Überdruck). Auf Grund der Einschätzung der Elaflex, fließen nur 50 % der mittels des normierten Wertes berechneten Emissionen, was als Maximalwert gilt, in die Gesamtfracht ein.

Die Schlauchlänge wurde auf 4 Meter geschätzt und anhand des Wertes der Zulassung die maximale Permeation pro Schlauch berechnet. Für das Jahr 2021 ist die Anzahl Zapfhähne in der Schweiz bekannt (AGVS Auswertung "Bestand Zapfhähnen 2021")^{xvii}. Daraus wurde für die anderen Jahre das Verhältnis Anzahl Zapfhähnen pro Tankstelle von 6.3 abgeleitet. Es wurde dazu mit dem AGVS und Avenergy Rücksprache gehalten. Beide erachten die Herangehensweise als plausibel. Die Unsicherheit der durchschnittlichen Anzahl Zapfhähne pro Tankstelle liegt bei maximal 30%.

Die Emissionsfracht für das **Jahr 2020** liegt gemäss dem Ansatz «75% des Wertes der Zulassung» bei **214 Tonnen** Benzindampf pro Jahr mit einer Bandbreite von 143-285 t/a. Der Emissionsfaktor liegt bei **106 g/t**.

Zukunftsprognose

Keine Veränderung erkennbar, Emissionsfaktor für Stützwert Jahr 2030 konstant bei 106 g/t.

Historische Betrachtung

Annahme Stützwert 2010 ist der Wert der Zulassung anwendbar, der Emissionsfaktor beläuft sich auf 143 g/t.

Annahme 1.5facher Wert der Zulassung für die Stützwerte 1990 und 2002. Somit resultiert ein Emissionsfaktor von 229 g/t.

3.7 Betankung Schiffe inkl. Emissionen durch Kanisterbefüllung

Weit verbreitet ist die Benzin-Betankung von Motorbooten durch Kanister. Grund für das «Kanistern» seien die massiv höheren Benzinpreise an Bootstankstellen im Vergleich zu konventionellen Tankstellen^{xviii}. An gewissen Gewässern (z.B. Rhein Basel) gibt es überhaupt keine Bootstankstellen, das Kanistern ist Usus, auch für Arbeitsboote (Polizei...)^{xix}.

Die Befüllung von Kanistern und Booten finden in diesen Fällen komplett ohne Gasrückführung statt. Das bedeutet, es entstehen zweimal Emissionen, einmal bei der Befüllung des Kanisters und einmal bei der Entleerung.

Emissionsfaktor 2020

Vor diesem Hintergrund wurde angenommen, dass nur ein Viertel des Benzinabsatzes für Boote an Tankstellen mit einer Gasrückführung umgeschlagen werden und die restlichen Mengen per Kanister eingefüllt werden. Bei der Befüllung des Kanisters wird das Gasvolumen komplett emittiert. Dasselbe geschieht nochmals, wenn das Benzin in den Bootstank gefüllt wird. D.h. die Emissionen verdoppeln sich somit. In der Jahresfracht sind Kanister-Emissionen ebenfalls integriert.

Die Emissionen für das **Jahr 2020** liegen bei **25 Tonnen** Benzindampf mit einer Bandbreite von 17 bis 33 Tonnen. Der Emissionsfaktor befindet sich bei **12 g/t**, wenn davon ausgegangen wird, dass drei Viertel des Jahresumschlages per Kanister eingefüllt wird.

Zukunftsprognose

Keine Veränderung in Kenntnis, Wert Emissionsfaktor für Stützwert Jahr 2030 bei 12 g/t konstant.

Historische Betrachtung

Keine Veränderung prognostizierbar, Wert Emissionsfaktor für die Stützwerte 2002 und 2010 bei 12 g/t konstant, für den Stützwert Jahr 1990 ohne Gasrückführung wird 16 g/t angenommen.

3.8 Betankung Motorräder 4-Takt und Motorräder 2-Takt

Emissionsfaktor 2020

Bei der Motorradbetankung wird die Gasrückführung als nicht wirksam bewertet. Die Geometrie der Motorradtanks passt nicht zu den Zapfpistolen, da letztere nicht eingeführt werden können und mit steigendem Füllständen konstant herausgezogen werden müssen ^{xx}. Der Ring der Gasrückführung umschließt den Tankstutzen nicht. Auf Grund des Abstandes wird die Gasrückführung wirkungslos. Zudem sind höhere Tropfverluste zu erwarten als bei der Betankung von Personenkraftfahrzeugen, da die Zapfpistole durch Eintauchen in das flüssige Benzin benetzt wird Fehler! Textmarke nicht definiert.. Es wird angenommen, dass die Zapfpistole dadurch die doppelten Emissionen durch Tropfverluste hervorruft, im Vergleich zum Wert der Zulassung.

Zusätzlich werden 2-Takt Motorräder in der Regel via Kanister befüllt oder es stehen Tankstellen ohne Gasrückführung bereit^{xxi}. Bei der Kanisterbefüllung entstehen zusätzliche Emissionen, welche im Modell ebenfalls berücksichtigt werden. Für die Frachtabschätzung wurde angenommen, dass 75 % des Benzinabsatzes der 2-Takt Motorräder via Kanister befüllt wird (Emission Kanister berücksichtigt) und 25 % des Benzinabsatzes über eine Tankstelle bezogen werden. Kanisterbetankungen führen zu doppelten Emissionen, da das Benzindampfvolumen der Kanister bei deren Befüllungen auch emittiert wird.

Die Emissionsfracht setzt sich zusammen aus den Summen der Emissionen beim Betanken an der Tankstelle, der Tropfverlusten sowie bei der Betankung von 2-Takt Motorräder und den Verlusten beim Befüllen der Kanister.

Für das **Jahr 2020** wurden Emissionen von rund **95 Tonnen** berechnet mit einer Unsicherheit von 30% (66-123 t). Der Emissionsfaktor beläuft sich auf **47 g/t** und verhält sich über die Jahre konstant.

Zukunftsprognose

Keine Veränderung prognostizierbar, Wert Emissionsfaktor von 47 g/t auch für den Stützwert Jahr 2030 konstant, da keine technischen Neuerungen bekannt.

Historische Betrachtung

Technik identisch in der Vergangenheit, Wert Emissionsfaktor von 47 g/t auch für die Stützwerte 1990, 2002 und 2010 konstant.

3.9 Emissionen Strassentransport

Gemäss dem «alten EMIS-Kommentar»^{xi} werden die Emissionen der Tanklastwagen unter Fahrt mit Druckvakuumventilen mit 0.01 kg/t eingeschätzt. Dieser Emissionsfaktor wird übernommen.

Es resultiert eine Emissionsfracht für das **Jahr 2020** von rund **20 Tonnen**, mit einer Unsicherheit von 30 %. Der Emissionsfaktor berechnet sich auf **10 g/t**.

Zukunftsprognose

Keine Veränderung prognostizierbar, Wert Emissionsfaktor für Stützwert Jahr 2030 bei 10 g/t konstant, da keine technischen Neuerungen bezüglich Ansprechdruck des Sicherheitsventils am Tanklastwagen bekannt.

Historische Betrachtung

Technik identisch in der Vergangenheit. Der Emissionsfaktor für die Stützwerte 1990, 2002 und 2010 wird als konstant bei 10 g/t belassen.

3.10 Entlastung Tankfahrzeug vor Ablad

Der Überdruck in den Kammern des Tankfahrzeuges muss vor dem Ablad entspannt werden ^{xxii}. Dies geschieht entweder direkt via Ventile am Tankwagen oder, wenn die Gaspindelung zuerst angeschlossen wird, via Überdruckleitung der Tankstelle. Beim Entspannen des Tankfahrzeuges werden sämtliche Kammern entlastet. Der Ansprechdruck des Druckvakuumventils des Tankfahrzeuges liegt bei 120 mbar. Bei der Besichtigung konnte bei der Entlastung Benzingeruch wie auch ein «Pfff»-Geräusch festgestellt werden.^{xxiii}

Emissionsfaktor 2020

Je weniger Benzin in der Kammer des Tankfahrzeuges, desto grösser das Gasvolumen und desto höher werden die Emissionen pro Entlastung. Meist wird dieselbe Tankladung mehrmals entspannt, da ein volles Tankfahrzeug mehrere Tankstellen anfährt bis zum Leerstand (durchschnittliche Anliefermenge 15'000 l).

Für eine erste Abschätzung der Grössenordnung der Emissionen wurde mit einem Druckanstieg von 100 mbar sowie 200 mbar gerechnet (Maximalwert, direkt unterhalb Ansprechdruck Tankfahrzeugkammer), einmal für ein maximal befülltes Tankfahrzeuges (35'150 l) und einmal bei einem Füllstand von 50 %. Die Emissionen zeigen eine grosse Bandbreite, massgeblich beeinflusst durch den Füllstand der Kammern sowie den gewählten Überdruck.

Für die Ermittlung des Emissionsfaktors wurde der Rechenansatz mit 100 mbar Überdruck verwendet. Es wird angenommen, da dass das volle Tankfahrzeug zwei Tankstellen anfährt. Die erste Anfahrt mit vollem Tank, die zweite mit einem Füllstand von 50 %. Die Entlastung findet vor jedem Ablad statt. Es resultieren Emissionen durch die beiden Entlastungen von rund **166 t** für das **Jahr 2020**. Die Unsicherheit liegt bei 30%. Der Emissionsfaktor liegt bei **83 g/t**.

Zukunftsprognose

Keine Veränderung prognostizierbar, Wert konstant 83 g/t.

Eine Veränderung in der Bewirtschaftung der Tankstellen könnte zur Emissionsminderung führen. Würden Tanks in der Tendenz mehr geleert sein vor der nächsten Anlieferung, liessen sich die Anzahl Anlieferungen und somit Entlastungen senken. Ob dies in der Praxis umsetzbar ist, ist ungewiss, da die Betreiber das Risiko eines Leerstandes nicht eingehen können. Zudem werden kleinere Mengen teilweise «beim Vorbeifahren» noch abgeladen, damit das Tankfahrzeug leer zurückgenommen werden kann.

Idealerweise sollte sich die Tankfahrzeug-Fracht so wenig wie möglich aufwärmen, um Druckanstieg zu vermeiden (= kein Stehen-Lassen in der Sonne über Mittag etc.)

Historische Betrachtung

In der Vergangenheit wurden vermehrt kleinere Tanks verbaut, jedoch waren auch die Tankfahrzeuge kleiner ausgelegt. Pro Füllung des Tankfahrzeuges konnten durchschnittlich drei Tankstellen angefahren werden.

Der Emissionsfaktor für die Stützwerte der Jahr 1990 und 2002 liegen bei 158 g/t. Für das Stützjahr 2010 kommt der Emissionsfaktor etwas tiefer bei 120 g/t zu liegen, begründet durch die steigende Anzahl grösserer Tanks sowie die Einführung von 40 t LKWs im Jahr 2005.

3.11 Emissionen durch Öffnung Tank zwecks Peilung vor Anlieferung

Bis ungefähr 2019 war die Bestimmung des Füllstandes durch Ziehen des Messstabes Pflicht. Seit einigen Jahren ist eine elektronische Füllstandablesung erlaubt. Bei der Besichtigung wurde der Füllstand mittels manueller Ablesung bestimmt. Es konnte bei Öffnung des Mannlochs ein deutlicher Benzingeruch wahrgenommen werden.

Durch Befragungen der Tankstellenbetreiber konnte die Praxis der Füllstandsablesung von rund 54 % der Tankstellen (Stand Mai 2022) in Erfahrung gebracht. Rund 70 % der Tankstellen bestimmen durch Ziehen des Messstabes den Füllstand, rund 30 % der Tankstellen haben auf eine elektronische Füllstandsablesung umgestellt, welche emissionsfrei durchgeführt werden kann. Zu erwähnen ist auch, dass teils Betreiber auch bei einer Diesel-Anlieferung den Füllstand des Benzintanks bestimmen, um eine höhere Bestandes-Kontrolle zu erhalten.

Emissionsfaktor 2020

Für die Berechnung wurde angenommen, dass bei der Öffnung der aufgebaute Überdruck im Tank komplett entweicht. Unsicherheiten der Berechnung sind variable Drücke im Tank sowie unterschiedliche Füllstände.

Für die Emissionsabschätzung wurde minimal mit 10 mbar Überdruck sowie maximal 30 mbar (unterhalb Ansprechdruck Druckvakuumventil) Überdruck gerechnet. Für die Verteilung der Tankgrösse wurde von 70 % grossen Tanks (50'000 Liter) und 30 % kleinen Tanks (10'000 Liter) ausgegangen, jeweils mit einem Füllstand von 20 %.

Bei Tankstellen, an welchen mittels ziehen des Messstabes der Füllstand bestimmt wird, kann es Praxis sein, dass TanklastwagenfahrerInnen auch bei ausschliesslich einem Dieselablad den Füllstand des Benzintankes bestimmt, um eine grössere Kenntnis der Füllstände zu haben. Um dem in der Berechnung gerecht zu werden, wurde der Anteil an manuell gepeilten Anlagen von 70 auf 75 % erhöht.

Die Emissionen für das **Jahr 2020** liegen in einer Bandbreite von 43 -130 t, im Mittel bei **84 t**. Der Emissionsfaktor liegt bei **42 g/t**.

Zukunftsprognose

Die Zukunft entwickelt sich in der Tendenz hin zu grösseren Tanks. Grössere Tanks sind in der Tendenz neuer. Tankstellenbetreiber mit grösseren Tanks haben eher schon auf elektronische Ablesung oder gar auf Fernablesung umgestellt. Obwohl grössere Tanks stärker zur Emissionsfracht beitragen, wird die Umrüstung auf grössere Tanks als Potential zur Emissionsreduktion bewertet - mit dem Vorbehalt, dass gleichzeitig zur Umrüstung auch elektronische Ablesung installiert wird. Es wird angenommen, dass diese Emissionen längerfristig um 75 % gesenkt werden können. Der Emissionsfaktor käme für den Stützwert Jahr 2030 auf 11 g/t zu liegen.

Historische Betrachtung

Für die Stützwerte 1990, 2002, und 2010 wird der Anteil elektronischer Füllstandablesung mit 0 % bewertet. Der Emissionsfaktor liegt bei 56 g/t.

3.12 Rückstand Schläuche

Beim Benzinablad durch das Tankfahrzeug werden die beiden Schläuche angehängt. In beiden verbleibt nach dem Ablad Benzin, entweder als Benzindampf oder als Flüssigkeit, welches in die Umgebung entweicht. Als Emissionsquelle sind die beiden Schläuche addiert.

Rückstand Benzindampf in Schlauch Gasrückführung

Die Schläuche der Gasrückführung werden nach dem Abhängen unverschlossen aufgehängt. Es bleibt gesättigter Benzindampf zurück, der in die Umgebung abgegeben wird. Es gibt drei verschiedene Schlauchlängen xxii xxiii.

Rückstand flüssiges Benzin in Schläuchen nach Benzinablad

Der Schlauch wird nach Betankung zuerst am Tankfahrzeug abgehängt und in die Höhe gehalten, um restliches Benzin in den Tank zu leeren. Schläuche am Tankfahrzeug liegen in drei Längen vor. Nicht alle Schläuche werden nach dem Abfüllen konsequent mit Blindstopfen verschlossen. Ohne Blindstopfen ist ein Auslaufen, respektive Nachverdunsten der Rückstände zu erwarten. Beim Augenschein des Benzinablads war aus der Kammer des Tankfahrzeuges, wo die kurzen Schläuche eingehängt werden, starker Benzingeruch wahrnehmbar und die austretende Flüssigkeit wurde mit Lappen aufgefangen.

Rückstände sind unvermeidlich, auch wenn die Schläuche belüftet werden. Es wurde durch luftkollektiv gmbh geschätzt, dass 0.01 ml/cm^2 Benzin an der Schlauch-Innenseite durch Benetzung verbleibt.

Emissionsfaktor 2020

Die durchschnittliche Emission für das Jahr 2020 aus dem Mittel der Emissionen der drei Schlauchlängen für flüssiges Benzin und die Gasrückführung, beträgt 48 t. Die Bandbreite der Emission wird von 17 t beim Verwenden ausschliesslich kurzer Schläuche und bis 57 t beim Verwenden der längsten Schläuche berechnet. Der Emissionsfaktor liegt bei 24 g/t.

Zukunftsprognose

Eine Pflicht zur Verwendung der Blindstopfen gemäss EU-Umland könnte zur Emissionsminderung führen, wobei die Wirkung unklar ist. Daher wird der Wert auch für das Jahr 2030 als konstant angenommen. Der Emissionsfaktor liegt bei 24 g/t.

Historische Betrachtung

Keine andere Handhabung bekannt, Wert für die Stützjahre 1990, 2002 und 2010 konstant. Der Emissionsfaktor liegt bei 24 g/t.

3.13 Anlieferung wärmeres Benzin

Wird Benzin mit einer wärmeren Temperatur als die Flüssigkeitstemperatur im Unterflurtank angeliefert, findet auf Grund der Erwärmung eine Volumenausdehnung und damit eine Druckerhöhung statt. Zudem findet auf Grund des sich ändernden Dampfdruckes eine weitere Aufsättigung der Gasphase statt, was ebenfalls zu einer Druckerhöhung führt^{xxiv}.

Die Mischtemperatur hängt stark von der eingelagerten Menge ab, da die Temperatur im Unterflurtank meist konstant bei 12 °C liegt. Ab einer Temperaturdifferenz von ca. 10 Kelvin der beiden Flüssigphasen ist, gemäss Berechnung luftkollektiv gmbh im Modell, mit einer Öffnung des Druckvakuumventiles (30 mbar Ansprechdruck) zu rechnen.

Die Überlegung zum Ansprechen des Druckvakuumventiles wurde mit zwei Szenarien berechnet, mit maximaler Einlagerungsmenge und mit der durchschnittlichen. Bei grösseren Einlagerungsmengen tritt die Öffnung des Druckvakuumventiles bei Sommerbedingungen zuverlässig ein. An warmen Frühlings- und Herbsttagen ist dies ebenfalls denkbar, wenn die Einlagerungsmenge gegen das Maximum geht. Bei einer durchschnittlichen Einlagerungsmenge wird die Öffnung des Druckvakuumventiles als eher unwahrscheinlich eingeschätzt, ausser für Ware ab Raffinerie. Da ist bei beiden Varianten der Einlagerungsmengen die Öffnung und Entlastung in die Umwelt gegeben.

Emissionsfaktor 2020

Unterscheiden sich die Temperaturen der beiden Flüssigphasen um rund 10 Kelvin, sind Emissionen zu erwarten. Für die Emissionsabschätzung wird die Näherung getroffen, dass die Gasphase die Mischtemperatur der Flüssigkeit annimmt. Für die Emissionsberechnung wurde angenommen, dass 70 % der Anlieferungen mit maximaler Liefermenge erfolgen und 30% mit einer durchschnittlichen. Die Emission der Sommerbedingung wurde um den Faktor 1.5 erhöht, um warme Frühlings- und Herbsttage, sowie Ware ab Raffinerie einzubeziehen.

Die Emissionen liegen in einer Grössenordnung von **17 Tonnen** pro Jahr für das **Jahr 2020** mit einer Bandbreite von 1-32 t/a, woraus ein Emissionsfaktor von **8 g/t** resultiert.

Zukunftsprognose

Durch Zunahme der Anzahl warmer Tage ist eine Zunahme Emissionen zu erwarten. Der Emissionsfaktor für den Stützwert Jahr 2030 kommt bei 11 g/t zu liegen.

Historische Betrachtung

Für die Jahre der Stützwerte 1990, 2002 und 2010 waren weniger Hitzetage gegeben, was einen tieferen Emissionsfaktor ergibt, ungefähr 6 g/t.

3.14 Undichte Stufe I; Emissionen bei Anlieferung

Gemäss DGMK Forschungsbericht 504 werden beim Einlagern ohne Druckvakuumventil rund 5 % des gependelten Volumens emittiert (mit Drossel). Die 5 % werden als gute Näherung eingeschätzt.

Im Weg der Gaspendelleitung herrscht ein Druckverlauf von Überdruck (Tank) zu Unterdruck (Tankwagen). Nur wenn der Lüftungsmast im Überdruckbereich steht, ist mit diesen Emissionen zu rechnen. Gemäss weiteren Abklärungen sei "in der Schweiz der Lüftungsmast direkt mit dem Lagertank verbunden" und steht folglich im Überdruckbereich^{xxv}, was die Entweichung der Dämpfe in die Atmosphäre bedeutet.

Emissionsfaktor 2020

Für die Bestimmung des Emissionsfaktors 2020 findet die Näherung für Tanks, welche die Dichtheitsprüfung für Stufe I nicht bestanden haben, Anwendung. Gemäss Stichprobenkontrollen der Kantone waren rund 28 % der Tankstellen in Stufe I zu beanstanden. Die unangemeldeten Stichprobenkontrollen der Kantone repräsentieren den angetroffenen Zustand.

Die Unsicherheit liegt in der Verteilung der angelieferten Menge pro Tankstelle und den anzutreffenden Füllständen, denn für die Berechnung wurde der Jahresabsatz über alle Tankstellen gleich verteilt.

Die Emission für das **Jahr 2020** liegt bei **33 t**, berechnet anhand der Beanstandungsquote von 28 %. Der Emissionsfaktor liegt bei **16 g/t**. Die Unsicherheit liegt bei 60 %.

Zukunftsprognose

Keine Veränderung prognostizierbar. Wert konstant bei gleichbleibendem Kontrollintervall. Der Emissionsfaktor liegt bei 16 g/t.

Historische Betrachtung

Einführung der systematischen Druckverlustmessung mit Manometer erfolgte im Jahr 2017. Für die Zeit vor der Druckverlustmessung und nach Einbau der Druckvakuumventile wird von einer Beanstandungsquote von 50 % ausgegangen, was zu einem Emissionsfaktor von 29 g/t führt für die beiden Stützwerte der Jahre 2002 und 2010.

Für den Stützwerte 1990 resultiert ein Emissionsfaktor von 1159 g/t, weil zu der Zeit weder eine Gaspendelung noch Druckvakuumventile verbaut waren.

3.15 Undichte Stufe I; Atmungsverluste auf Grund Temperaturanstieg

Die Atmungsverluste von in Stufe I beanstandeten Tankstellen berechnen sich analog VDI 3479, Freibelüfteter Festdachtank. Für die Anzahl undichter Tankstellen wurde die Beanstandungsquote von 28 % der kantonalen Stichproben verwendet.

Emissionsfaktor 2020

Temperaturanstiege im Tank werden auf meteorologische Faktoren und auf die wärmeren, zurückgeführten Benzindämpfe aus den Autotanks zurückgeführt.

Die zurückgeführten Benzindämpfe aus den Autotanks sind im Sommer wie Winter wärmer als die Temperatur im Unterflurtank. Ist ein Fahrzeug 10 Minuten in Betrieb, erwärmen sich die Benzindämpfe bereits auf 40 °C.

Der Temperaturanstieg der Gasraumtemperatur im Unterflurtank wurde um 3 Grad für die Sommersituation und 2 Grad für die Wintersituation angenommen. Die daraus resultierende Volumenänderung an den Sommer- und Wintertagen ergibt die Emission.

Der Temperaturanstieg versteht sich als grobe Näherung. Eine genauere Aussage über temperaturbedingte Atmungsverluste wäre durch Messungen an den Tankstellen möglich.

Die Emissionen für das **Jahr 2020** belaufen sich auf rund **52 Tonnen** pro Jahr, berechnet anhand der Beanstandungsquote von 28 %. Der Emissionsfaktor liegt bei **26 g/t**. Die Unsicherheit liegt bei 60 %.

Zukunftsprognose

Keine Veränderung erkennbar, Prozentsatz undichter Tankstellen als konstant eingeschätzt bei gleichbleibendem Kontrollintervall.

Historische Betrachtung

Die Einführung der systematischen Druckverlustmessung mit Manometer erfolgte im Jahr 2017.

Für die Zeit davor wird von einer Beanstandungsquote von 50 % ausgegangen.

Für die Stützwerte 2002 und 2010 liegt der Emissionsfaktor bei 46 g/t.

Für den Stützwert 1990 (LRV-Vollzug noch nicht umgesetzt) wird angenommen, dass keine Druckvakuum-Ventile vorhanden waren und somit 100% der Tankstellen als undicht zu betrachten sind. Der Emissionsfaktor liegt bei 92 g/t.

3.16 Einfluss Gasrückführung ungleich 100 %

Ist die Gasrückführung kleiner oder grösser als 100 % eingestellt, findet in beiden Fällen im Unterflurtank eine Aufsättigung der Frischluft statt^{xxiv}. Diese Frischluft wurde entweder via Gasrückführung, welche grösser 100 % eingestellt war, hinzugefügt oder durch das Druckvakuumventil zwecks Volumenausgleich bei einer Gasrückführung kleiner 100 % nachgesogen. In beiden Fällen ist eine Druckerhöhung im Tank auf Grund der Nachverdampfung zu erwarten, und folglich entstehen in beiden Fällen Mehrmissionen.

In der Praxis können Überlagerungseffekte (Abschwächungen sowie Verstärkungen) auftreten, wenn mehrere Zapfsäulen an einer Tankstelle mit einer Gasrückführung kleiner oder grösser 100 % arbeiten. Dies ist jedoch schwierig bis unmöglich zu modellieren und variiert an jeder Tankstelle.

Emissionsfaktor 2020

Es liegen Auswertungen des AGVS und Auswertungen der unangemeldeten Stichprobenkontrollen der Kantone über die prozentuale Verteilung der Gasrückföhrbereiche vor. Eine Fragestellung des Auftrages war die Einschätzung des Realitätsfaktors der Auswertungen der periodischen Kontrollen des AGVS. Auf Grund der erheblich kleineren Beanstandungsquote der Messungen des AGVS im Vergleich zu den der unangemeldeten Stichproben der Kantone, flossen für die Emissionsberechnung die Werte der unangemeldeten Stichproben der Kantone ein.

Es wird die Näherung getroffen, dass «jegliche Differenz zu einer Gasrückführung 100 %» früher oder später als gesättigter Benzindampf emittiert wird. Eine Berücksichtigung von Überlagerungseffekten war nicht möglich. Ist die Gasrückführung kleiner 100 %, kommt die Emission direkt an der Zapfpistole beim Fahrzeug in Kundennähe noch hinzu.

GRF < 100 % Emission am Fahrzeug:	152 Tonnen
GRF < 100 % Emission gesamtes nachgesogenes Volumen gesättigt:	152 Tonnen
GRF > 100 % Emission gesamtes zu viel gepumptes Volumen gesättigt:	54 Tonnen

Die Emission für das **Jahr 2020** beläuft sich in der Summe auf **358 Tonnen** mit einer Unsicherheit von 60 %. Der Emissionsfaktor liegt in der Summe bei **177 g/t**.

Zukunftsprognose:

Auf Grund des fortschreitenden Systemwechsels hin zu selbstkalibrierenden Gasrückföhrsystemen ist davon auszugehen, dass die Emissionen weiter sinken werden auf rund 160 g/t.

Historische Betrachtung:

Für den Stützwert Jahr 1990 vor Umsetzung der LRV waren noch keine Gasrückföhrungen verbaut. Die Emissionen waren identisch mit dem verdrängten Volumen am Fahrzeugtank. Der Emissionsfaktor betrug 1363 g/t («GRF <100%, Emission am Fahrzeugtank»).

Für die Jahre nach Abschluss der Sanierung wird mit einem um 50 % höheren Emissionsfaktor gerechnet als heutzutage. Der Emissionsfaktor für die Stützwerte 2002 und 2010 liegt folglich bei 266 g/t.

4 Potential Emissionsreduktion

4.1 Gruppierung der Teilquellen

Die Frachten der 17 Teilquellen des Jahres 2020 werden in Gruppen mit ähnlichem Ursprung der Emissionen zusammengefasst.

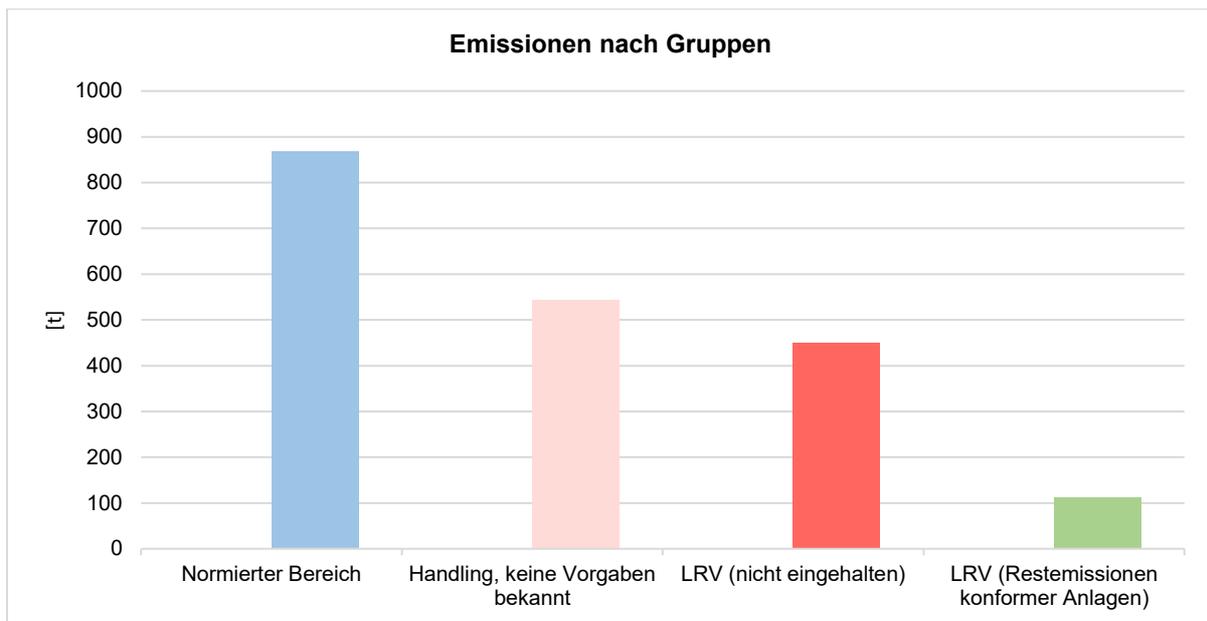


Abbildung 4 Gruppen mit ähnlichem Ursprung und deren Beitrag an die Emissionen³

Der Grossteil der noch verbleibenden Emissionen (71 %) ist nicht durch den aktuellen LRV-Vollzug geregelt, respektive werden an diesen Teilquellen keine periodischen Kontrollen durchgeführt. Dies betrifft die in Abbildung 4 dargestellten zwei Gruppen «Normierter Bereich» und «Handling». Rund 44% der Emissionsfracht ist abhängig vom Stand der Technik des Produkteangebotes für Tankstellen und folglich, wie deren normierten Werte hinsichtlich Benzindampffreisetzung festgelegt sind. Für rund 27% der Emissionen liegen keine bekannten Vorgaben vor. Die Emissionen entstehen vorwiegend durch das branchenübliche oder individuelle Handling.

In Relation zur Gesamtfracht sind rund 23% der Emissionsfracht auf nicht LRV-konforme Anlagen zurückzuführen (defekte oder undichte Druckvakuumventile, Gasrückführungen ausserhalb des Toleranzbereiches). Rund 6 % bilden sich aus den Restemissionen LRV-konformer Gasrückführungen.

3

Normierter Bereich: Tropfverluste, Übergang Tankstutzen Zapfventil, Permeabilität Zapfschläuche

Handling, keine Vorgaben bekannt: Verschüttungsverluste, Anfangsschwall, Strassentransport, Belüftung Camion vor Ablad, Öffnung Mannloch vor Ablad zwecks Peilung, Rückstand in Schläuchen nach Benzinablad, Anlieferung wärmeres Benzin.

LRV (nicht eingehalten): Motorräder 4-Takt und 2-Takt, Ablad mit defektem pV-Ventil, Atmungsverlust defektes pV-Ventil, Emission aus Tank auf Grund Nachverdampfen (GRF nicht LRV konform), Emission am Fahrzeug, (GRF < 100% nicht LRV konform), Betankung Schiffe (inkl. Kanisterbefüllung)

LRV (Restemissionen konformer Anlagen): Emission aus Tank auf Grund Nachverdampfen (GRF > 100% im LRV Bereich), Emission am Fahrzeug, (GRF < 100% im LRV Bereich)

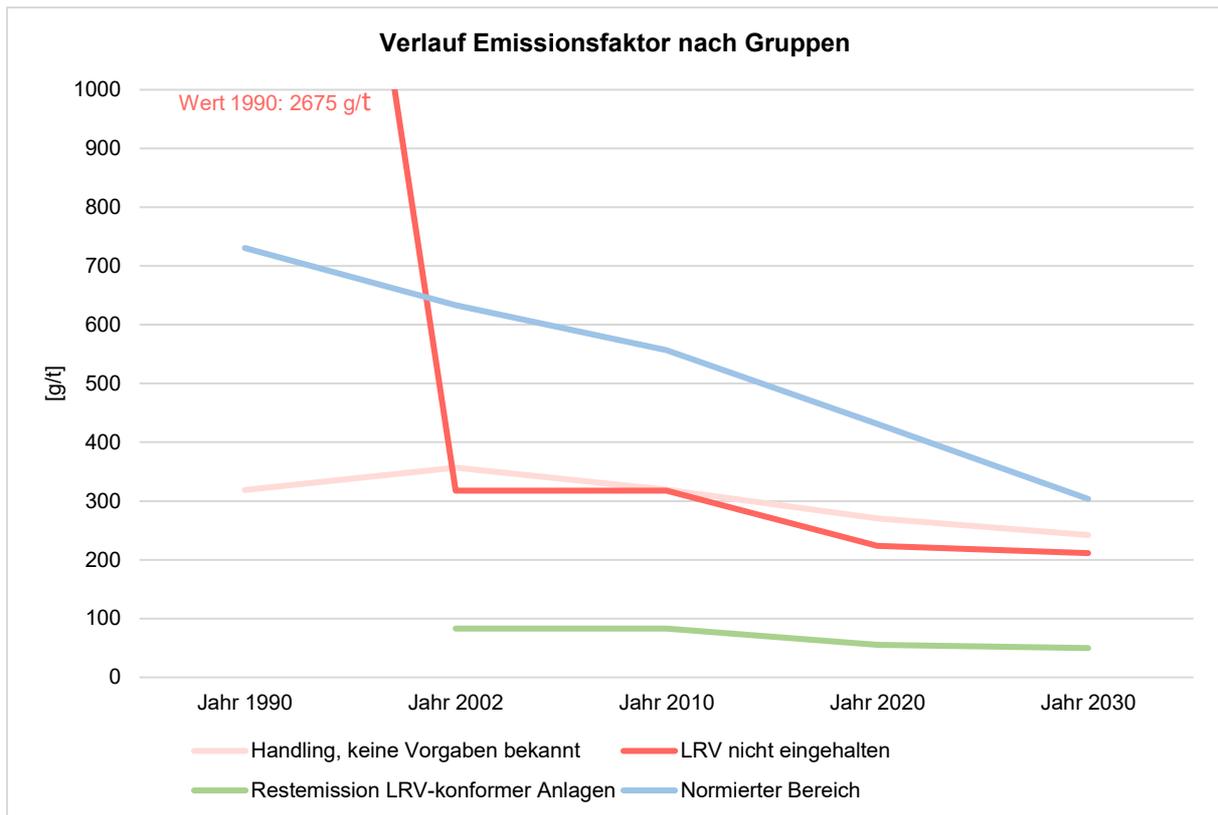


Abbildung 5 Gruppen mit ähnlichem Ursprung der Emissionen und deren Emissionsfaktoren

Der Emissionsfaktor liegt für das Jahr 2020 bei 980 g/t. Die Prognose für das Jahr 2030 ergibt noch rund 20 % im Vergleich zum Zustand ohne Massnahmen (Stützwert Jahr 1990).

Für gewisse Teilquellen sind (noch) keine technischen Massnahmen zur Reduktion der Emissionen bekannt (beispielsweise für Verschüttungsverluste, Verzögerung Einsetzen der Gasrückförhpumpe, Entlastung Tankfahrzeug vor Ablad in Umgebung, Emissionen des Tanklastwagens unter Fahrt). Für einige Teilquellen sind technische Lösungen zwar vorhanden, jedoch nicht gefordert (flächendeckende Gasrückführungen für Schiffs- und Motorradbetankung (mit passender Geometrie nötig), Öffnung Mannloch zwecks Peilung).

Ohne weitere Massnahmen behördlicherseits kann davon ausgegangen werden, dass der Emissionsfaktor nicht mehr weiter sinken wird. Ergänzend sind für eine Emissionsreduktion Verbesserungen im Handling durch Nutzer sowie Betreiber angezeigt.

Die luftkollektiv gmbh hat im folgenden Unterkapitel 4.2 einen Ideen katalog zur Reduktion der Benzindampfemissionen zusammengestellt.

4.2 Ideen-Katalog luftkollektiv gmbh zur Emissionsreduktion

Daten aus Realbetrieb der Tankstellen erheben

Als zusätzliche Emissionserhebung und Sensibilisierung der Tankstellenbetreiber über die Verluste durch Permeation der Schläuche, Atmungsverluste auf Grund defekter Druck-Vakuumventile und Ablad sowie Gasrückführungen mit einer Funktion von kleiner und grösser 100%, könnten **Emissions-Bilanzen** der Tankstellen periodisch eingefordert werden.

Gemäss Aussage von befragten Tankstellenbetreibern sollten die Daten dafür vorliegen und die Differenz von Treibstoffverkauf zu Anlieferung bei mehreren 100 kg Benzin pro Tankstelle liegen. Bei der aktuellen Anzahl Tankstellen von rund 3'355 betragen mit dieser Schätzung die Verluste Seitens Tankstellenbetreiber mindestens 600 Tonnen Benzindampf pro Jahr. Werden die entsprechenden Verluste der Teilquellen aus diesem Modell summiert, resultiert ein Wert in ähnlicher Grössenordnung von 607 Tonnen Benzindampf pro Jahr.

Gemäss einem Interview gibt es folgende Beobachtung: «Wird zur Stufe I-Prüfung beispielsweise 100l Benzin in einen entspannten 30'000 Liter Tank geleert, reicht dies bereits aus, um das Druckvakuumventil zu öffnen». Das System scheint im Realbetrieb viel fragiler, als luftkollektiv gmbh im Modell abbilden konnte. Wir empfehlen die **Emissionsmessungen am Druckvakuumventil** bei verschiedenen Operationen (z.B.: Atmungsverluste während der Betankung, Einlagerung) während Realbetrieb zu messen.

Behördliche Massnahmen

Das Sample der unangemeldeten kantonalen Stichproben ist zur Menge der betriebenen Tankstellen relativ klein. Es wird empfohlen, vermehrt unangemeldete Stichproben durch Kantone durchzuführen, um den Realitätsfaktor der periodischen Kontrollen durch das Tankstelleninspektorates zu erhöhen.

Auf Grund undichter oder defekter Druckvakuumventile entstehen Emissionen bei der Anlieferung wie auch durch Tankatmung. Kürzeres Intervall der periodischen Drucktests ist auf Grund der Beanstandungsquote der unangemeldeten Stichproben der Kantone von rund 30 % gegenüber der Beanstandungsquote von rund 3 % der AGVS-Messungen angezeigt (Kontrolle auf Dichtheit wird zeitgleich mit der Kontrolle des verbauten Gasrückführsystems durchgeführt. 3-jährliches Kontrollintervall für selbstregulierende Systeme, Kontrollintervall von 6 Monaten bei Tankstellen mit Gasrückführsysteme ohne Funktionssicherung).

Wir empfehlen die manuelle Füllstandsablesung vor dem Benzinablad über den Vollzug zu regulieren und für Neuanlagen elektronische Füllstandsablesungen als Stand der Technik vorzuschreiben.

Betankung von Motorrädern weisen Optimierungspotential auf. Es sind technische Anpassungen nötig, damit die Zapfpistole mit dem Motorrad-Tank kompatibel wird und folglich die Gasrückführung wirksam arbeiten kann.

Betankung von Booten mit Gasrückführung fördern. Seetankstellennetz ausbauen. Kanister-Befüllung regulieren, da diese emissionsintensiv ist.

Blindstopfen für Tankwagenschläuche (Benzinschlauch und Gasrückführung) vorschreiben, analog Deutschland.

Organisatorische Massnahmen

Optimierung des Tankstellenmanagements hinsichtlich Anlieferung der Ware. Insbesondere im Sommer Wert darauflegen, dass Tankfahrzeuge nicht unnötig, beispielsweise über die Mittagspause, in der Sonne stehen und sich die Ware erwärmt, was zu höheren Emissionen beim Ablad führen kann.

Information an Tankstellenbetreiber über die verhältnismässig hohen Emissionen durch Verschüttungsverluste. Tankkunden zur Emissionsminderung durch Vermeidung von Tropf- und Verschüttungsverlusten sensibilisieren.

5 Quellen – und Literaturverzeichnis

-
- ⁱ Excel: «Modell_luftkollektiv_Benzindampfemissionen_Tankstellen», November 2023
- ⁱⁱ Gesamtenergiestatistik 2021, «Benzinabsatz an Tankstellen abzüglich Verluste Tanklager»
- ⁱⁱⁱ AGVS, Markus Peter, Mail 27.6.2023 «Einführung pV-Ventile»
- ^{iv} KVV-Richtlinie 1; Dezember 2018, «Gewässerschutzmassnahmen bei Lageranlagen und Umschlagplätzen zum Verhindern, leichten Erkennen und Zurückhalten von Flüssigkeitsverlusten»
- ^v Emis Datenbank, Prozess «Benzinumschlag Tankstellen» Auszug Stand 21.6.22
- ^{vi} Markus Peter, Tankstelleninspektorat Excel «Anzahl Zapfhähnen 2021 AGVS»
- ^{vii} 2005; Peter Grathwohl, Torsten Schmidt; Herkunft und Bilanzierung des Eintrags des Benzinzusatzes Methyl-tert-butylether (MTBE) und seinen Abbauprodukten in Grundwasser mittels multikompartimenteller Modellierung (S.24)
- ^{viii} DIN EN 13012, Tabelle 4, («10 ml/Betankung, ohne Einhängen»)
- ^{ix} Interview Elaflex, Mai 2022 («1/10 Wert Zulassung»)
- ^x 2006, SwissTS, «Literaturstudie Freisetzung von Benzindämpfen an Tankstellen» i.A BAFU
- ^{xi} "früherer EMIS-Kommentar" Dokumentation Quelle «Benzinumschlag, Tankstellen» Corinair Nr: 050503, 1910 – 2010 BAFU
- ^{xii} Peter von Elterlein-Szalata, TÜV SÜD, 22.2.2022, Interview und Mailverkehr
- ^{xiii} Umfrage luftkollektiv gmbh an Messtechniker TSI, 2021 excel «Quelle Anfangsschwall Auswertung Umfrage Messtechniker_luftkollektiv 2021»
- ^{xiv} KSW-Technik AG, 3.8.2021 Besichtigung Tankstelle Rudi Rüssel Rankstrasse 35, 4058 Basel
- ^{xv} René Frei, Osterwalder, Interview Mai 2022
- ^{xvi} DIN EN 13483, Tabelle 4
- ^{xviii} Hans Jürgen Gottet, Bundesamt für Verkehr (BAV) Abteilung Sicherheit / Sektion Schifffahrt, Auskunft per Mail vom 17.12.2021
- ^{xix} Benedict Clauberg, Powerboat Academy Basel, telefonisches Interview Februar 2022
- ^{xx} Daniel Sollberger, Interview Töff Fahrer (Überprüfung Aussage am Augenschein während Töff-Betankung eines unbekanntes Lenkers)
- ^{xxi} Herr Brüllhard, Agrola
- ^{xxii} Rolf Bürgin, Kasag Tankfahrzeuge, Geschäftsführer, Interview Mai 2022
- ^{xxiii} TRAVEO, Besichtigung Benzinablad Tankstelle Laufen, 22. Mai 2022
- ^{xxiv} DGMK Forschungsbericht 504, «Drücke und Volumenströme im System Tankwagen/Tankstelle bei der Anlieferung von Ottokraftstoffen», Kapitel 2.2. physikalische Grundlagen
- ^{xxv} Beni Wettstein, AWEL, (Verfasser Quelle ^{iv} SwissTS, «Literaturstudie Freisetzung von Benzindämpfen an Tankstellen») Gespräch über Kapitel 5.4