Unabhängige Unternehmensgruppe des DVGW

DBI Gruppe

EmissionsCheck

Handbuch zur Verwendung eines Excel-Tools zur Bewertung von alternativen Maßnahmen im Rahmen der EU-Methanemissionsverordnung

Abschlussbericht

© Adobe Stock - Maksym Yemelyanov

Impressum

Abschlussbericht

EmissionsCheck

Erstellt im Auftrag von

Gaswirtschaftlicher Beirat

Dr.-Ing. Jörg Nitzsche
Halsbrücker Straße 34
D-09599 Freiberg

T +49 (0) 3731 4195-331
F +49 (0) 3731 4195-319

Joerg.nitzsche@dbi-gruppe.de
www.dbi-gruppe.de

Durchführung

Projektleitung

Stefanie Lehmann
stefanie.lehmann@dbi-gruppe.de
T +49 341 2457-175

Kontakt

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH
Karl-Heine-Straße 109/111
D-04229 Leipzig

www.dbi-gruppe.de

Autoren

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

Stefanie Lehmann

Laufzeit

01.04.2025 bis 31.10.2025

Inhalt

Abbildungsverzeichnis 5

Tabellenverzeichnis 6

Formelzeichen-, Index- und Abkürzungsverzeichnis 7

Glossar 8

1 Einleitung 10

2 Ziele 10

3 Voraussetzungen 11

4 Grundlagen 11

4.1 Anforderungen gemäß EU-Methanverordnung 11
4.2 Situationen und Vorgänge in der Praxis 11
4.3 Alternative Maßnahmen 12
4.3.1 Vorbereitende Maßnahmen zur Reduzierung des auszublasenden Volumens 12
4.3.2 Thermische Entsorgung durch den Einsatz mobiler Fackeln 12
4.3.3 Mobile Verdichter und mobile Speicher 12
4.3.4 Weitere Verfahren 13

5 Anwendungsbereich 14

6 Anleitung zur Nutzung des Tools EmissionsCheck 16

6.1 Methodik und Struktur des Tools 16
6.2 Standardwerte und Umrechnungsfaktoren 17
6.2.1 Annahmen 17
6.2.2 Methanemissionen in Kilogramm CO_2-Äquivalent 18
6.3 Dateneingabe 19
6.3.1 Hinweise zu den Eingabefelder 19
6.3.2 Verfahrensvergleich 19
6.3.2.1 Eingabe und Berechnungen 19
6.3.2.2 Ergebnisse 22
6.3.3 Mobile Fackeln 23
6.3.3.1 Eingabe und Berechnungen 23
6.3.3.2 Ergebnisse 25
6.3.4 Mobile Verdichter und Speicher 27
6.3.4.1 Eingabe und Berechnungen 27
6.3.4.2 Ergebnisse 30
6.4 Kataloge 31
6.4.1 Katalog mobile Fackeln 31

Inhalt

6.4.2 Katalog mobile Verdichter 33
6.4.3 Katalog mobile Speicher 35
6.5 Emissionsfaktoren 36

7 Ausblick 38

Literaturverzeichnis 39

Anhang 40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6.1: Ergebnisse Verfahrensvergleich 22
Abbildung 6.2: Ergebnistabelle mobile Fackeln 26
Abbildung 6.3: Ergebnisse mobile Fackeln 27
Abbildung 6.4: Ergebnistabelle mobile Verdichter und Speicher 30
Abbildung 6.5: Ergebnisse mobile Verdichter und Speicher 31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1: Einsatzbereiche der Verfahren und Tool-Scope 15
Tabelle 6.1: Struktur des Excel-Tools 16
Tabelle 6.2: Gaseigenschaften und Referenzwerte 18
Tabelle 6.3: Erforderliche Eingaben Verfahrensvergleich 19
Tabelle 6.4: Kenngrößen Verfahrensvergleich, optional/zentral änderbar 20
Tabelle 6.5: Emissionsberechnung Verfahrensvergleich 21
Tabelle 6.6: Erforderliche Eingaben mobile Fackeln 23
Tabelle 6.7: Kenngrößen mobile Fackeln, optional/zentral änderbar 24
Tabelle 6.8: Emissionsberechnung mobile Fackeln 25
Tabelle 6.9: Emissionsberechnung mobile Verdichter und Speicher 28
Tabelle 6.10: Kenngrößen mobile Verdichter und Speicher, optional/zentral änderbar 29
Tabelle 6.11: Emissionsberechnung mobile Verdichter und Speicher 29
Tabelle 6.12: Parameter Katalog mobile Fackeln 32
Tabelle 6.13: Geräte/Modelle im Katalog mobile Fackeln 33
Tabelle 6.14: Parameter Katalog mobile Verdichter 33
Tabelle 6.15: Geräte/Modelle im Katalog mobile Verdichter 34
Tabelle 6.16: Parameter Katalog mobile Speicher 35
Tabelle 6.17: Emissionsfaktoren in kg CO_2e 36

Formelzeichen-, Index- und Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

CH_4:	Methan
CO_2:	Kohlendioxid
CO_2e:	Kohlendioxid-Äquivalent (bezogen auf das Treibhauspotenzial)
EU-MVO:	EU-Methanemissionsverordnung
EF:	Emissionsfaktor
GWP:	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial eines Gases im Vergleich zu CO_2)
GWP_{100}:	Treibhauspotenzial über einen Zeitraum von 100 Jahren
h:	Stunde
HD:	Hochdruck
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat)
kWh:	Kilowattstunde
l:	Liter
MD:	Mitteldruck
MEGC:	Multiple-Element Gas Container (mobiler Gascontainer, Trailer)
ND:	Niederdruck
Nm^3:	Normkubikmeter
UBA:	Umweltbundesamt
VL:	Versorgungsleitung / Verteilnetz

Formelzeichen

P_{el}	elektrischer Leistungsbedarf
P_{diesel}	Dieselbedarf
P_{NG}	Erdgasbedarf
Q_N	Nennvolumenstrom
ρ_{n,CH_4}	Dichte von Methan unter Normbedingungen
s	Transportdistanz
t	Einsatzzeit / Laufzeit eines Geräts
V_{ref}	Ausblasemenge / Referenzvolumen ohne Minderungsmaßnahme
V	effektives Volumen (nach vorbereitenden Maßnhamen)
f_V	Volumenreduktionsfaktor
η_{comb}	Zerstörungs- und Abscheidegrad der Fackel
η_{avoid}	CH_4-Vermeidungsquote (Verdichter)

Glossar

Abfackeln	Entsorgung von Methan durch kontrollierte Verbrennung in zu diesem Zweck vorgesehenen Vorrichtung
Abquetschen	Mechanische Verengung oder Absperrung einer Leitung mittels Klemm- oder Quetschgeräten, um Teilvolumina zu isolieren und das wirksame Leitungsvolumen zu verringern.
Ausblasen	direkte Freisetzung von unverbranntem Methan in die Atmosphäre
Druckabsenkung	Geplante Reduzierung des Leitungsdrucks, z. B. durch Entspannung in nachgelagerte Netzebenen oder über Druckregelanlagen, als vorbereitende Maßnahme zur Volumenreduktion.
Emissionsfaktor	Kennwert, der die Treibhausgasemissionen je Aktivitätseinheit angibt, z. B. kg CO_2e pro Kilometer, Liter oder kWh.
Gasfreimachung	Gesamtheit aller Maßnahmen, mit denen Leitungsabschnitte oder Anlagenteile drucklos und so weit wie möglich gasfrei gemacht werden, um Arbeiten sicher durchführen zu können.
Global Warming Potential (GWP_{100})	Relative Klimawirkung eines Treibhausgases im Vergleich zu CO_2 über einen Zeithorizont von 100 Jahren; für Methan im IPCC-AR6 mit 28,9 angegeben [3].
Inertgasverdrängung	Verfahren, bei dem Gas in einer Leitung durch Einspülen eines Inertgases, meist Stickstoff, verdrängt oder verdünnt wird. Dient vor allem der Inertisierung und Erhöhung der Arbeitssicherheit vor Eingriffen in die Anlage.
Hochleistungsfackel	Groß dimensionierte mobile Fackelanlage für hohe Volumenströme und größere Drücke, wie sie im Hochdruck-Verteilnetz oder im Fernleitungsbereich auftreten. Hochleistungsfackeln sind auf hohe Verbrennungsleistung, robuste Standsicherheit und anspruchsvollere Transportlogistik (z. B. LKW oder Tieflader) ausgelegt. Sie werden in Szenarien mit großen auszublasenden Mengen eingesetzt (vgl. Herstellerinformationen, z.B. [1], [2]).
Hot Tapping	Anbohren einer unter Druck stehenden Leitung, um einen Abzweig oder Bypass zu schaffen, ohne den Gasstrom vollständig abzusperren. Wird häufig mit Stopple-Systemen kombiniert (vgl. z.B. [3], [4])
Kompaktfackel	Kleinere, mobile Fackelanlage mit begrenzter Leistung, ausgelegt für geringe bis mittlere Gasvolumina. Wird hauptsächlich in Nieder- und Mitteldrucknetzen eingesetzt, beispielsweise bei kleineren Wartungs- oder Reparaturarbeiten. Sie benötigt nur wenig Stellfläche und hat geringe Anforderungen an Energie und Transport (vgl. Herstellerinformationen, z. B. [2])
Line-Stopping	Oder Stopple-Verfahren. Technik zur temporären Absperrung einer unter Druck stehenden Leitung, häufig in Kombination mit Bypassleitungen. Sie ermöglicht Reparaturen oder Umbindungen, ohne den betroffenen Netzabschnitt vollständig außer Betrieb zu nehmen (vgl. z.B. [3], [4]).
Mobile Fackel	Transportable Anlage zur kontrollierten Verbrennung von Erdgas oder methanhaltigen Gasen, bestehend typischerweise aus Brennkammer, Zündeinrichtung und Hilfsenergiesystem.
Mobiler Verdichter	Transportable Verdichtereinheit, mit der Gas aus einem zu entleerenden Leitungsabschnitt in andere Netzabschnitte oder in Speichersysteme rückverdichtet

	wird.
Mobiler Speicher	Mobile Druckgasbehälter, etwa in Form von Multiple-Element Gas Container (MEGC) oder Flaschenbündeln, die zur Aufnahme und Zwischenlagerung von Gasvolumina genutzt werden, wenn eine Rückführung in das Netz nicht möglich ist.
Standardfackel	Mobile Fackelanlage mittlerer Leistungsklasse für typische Gasfreimachungen im Mitteldruck- und Hochdruckbereich. Sie eignet sich für mittlere Leitungsvolumina und bietet einen ausgewogenen Kompromiss aus Leistung, Transportaufwand und Hilfsenergiebedarf (vgl. Herstellerangaben, z. B. Esders GmbH, LAMBDA GmbH).
Vakuumpumpe	Aggregat zur Absaugung und teilweisen Evakuierung von Gas aus Leitungen oder Anlagenteilen, um Restgasvolumina vor Arbeiten zu minimieren.

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der im Jahr 2024 in Kraft getretenen EU-Methanemissionsverordnung (EU-MVO, Verordnung (EU) 2024/1788) sind Betreiber von Gasinfrastrukturen verpflichtet, Methanemissionen systematisch zu erfassen, zu vermeiden und zu berichten [5].

Ein zentraler Bestandteil der EU-MVO ist Artikel 15, der das routinemäßige Ausblasen und Abfackeln von Erdgas untersagt. Nur in technisch begründeten Ausnahmefällen, etwa bei Inbetriebnahmen, Wartungsarbeiten oder Notfällen, dürfen diese Verfahren angewendet werden. Die Verordnung sieht dabei folgende Vermeidungs- und Minderungshierarchie vor:

1. Wiedereinspeisung oder Rückverdichtung des Gases (z. B. durch mobile Verdichter),
2. kontrolliertes Abfackeln,
3. Ausblasen nur als letzte Option.

Um Betreiber bei der quantitativen Bewertung der Methanemissionen verschiedener Verfahren zur Druckentlastung und Entleerung von Leitungsabschnitten zu unterstützen, wurde das Excel-Tool *EmissionsCheck* entwickelt. Es ermöglicht eine Gegenüberstellung der Emissionen, die durch

- direkte Freisetzung (Ausblasen),
- kontrollierte Verbrennung (Abfackeln) sowie
- alternative technische Maßnahmen, wie mobile Verdichtung, entstehen.

Die Bewertung im Tool erfolgt emissionsseitig. Dies entspricht den Vorgaben der EU-MVO, die wirtschaftliche Erwägungen nicht als Begründung für die Auswahl einer Minderungsmaßnahme zulässt [5] . Entscheidend ist allein die technische Eignung der Maßnahme sowie ihre Wirksamkeit zur Emissionsminderung.

Der vorliegende Leitfaden beschreibt den Zweck, Aufbau und die Anwendung des Tools. Er soll Anwenderinnen und Anwender dabei unterstützen, die Berechnungslogik und Ergebnisse korrekt zu interpretieren und sie im Sinne der EU-MVO zur Dokumentation und Begründung von Minderungsmaßnahmen zu nutzen.

2 Ziele

Das Tool *EmissionsCheck* dient der emissionsbezogenen Bewertung verschiedener technischer Verfahren, die im Rahmen von Druckentlastungen oder Entleerungen von Leitungsabschnitten eingesetzt werden können. Ziel ist es, die in der EU-MVO festgelegte Vermeidungs- und Minderungshierarchie auch quantitativ zu überprüfen und die tatsächlichen Emissionswirkungen der einzelnen Maßnahmen nachvollziehbar darzustellen.

In bestimmten Fällen kann eine vermeintlich bevorzugte Maßnahme, etwa die Rückverdichtung mittels mobiler Verdichter, aufgrund des zusätzlichen Energiebedarfs oder des Transportaufwands der notwendigen Geräte höhere Gesamtemissionen verursachen als ein kurzzeitiges Ausblasen. Das Tool ermöglicht in solchen Fällen eine bewertende Gegenüberstellung der Alternativen, um die emissionsseitig sinnvollste Vorgehensweise zu identifizieren.

Darüber hinaus dient das Tool als Hilfsmittel zur fachlichen Unterstützung bei internen Entscheidungsprozessen und als Argumentationshilfe gegenüber den zuständigen Behörden. Es ersetzt jedoch keine rechtliche Bewertung oder verbindliche Entscheidungsgrundlage.

3 Voraussetzungen

Für die Nutzung des Tools gelten folgende Voraussetzungen:

- Software: Microsoft Excel 2016 oder neuer
- Kenntnisse: Grundlegende Excel-Kenntnisse (z. B. Umgang mit Dropdown-Menüs, Formeln, Tabellenblättern)
- Datei: Die aktuelle Version des Tools (z. B. „EmissionsCheck_V1.1.xlsx“) muss vorliegen.

4 Grundlagen

4.1 Anforderungen gemäß EU-Methanverordnung

Die EU-MVO untersagt das routinemäßige Ausblasen und Abfackeln von Methan (Art. 15 Abs. 1). Nur in begründeten Ausnahmefällen, etwa bei Wartung, Inbetriebnahme oder Notfällen, ist dies zulässig (Art. 15 Abs. 3). Dabei gilt eine Verfahrenshierarchie:

- Wiedereinspeisung oder Rückverdichtung (z. B. mit mobilem Verdichter),
- kontrolliertes Abfackeln,
- Ausblasen nur als letzte Option.

Ziel ist es, Methan möglichst vollständig zu nutzen oder zu verbrennen, um direkte Emissionen zu vermeiden. Betreiber müssen alle Maßnahmen dokumentieren und jährlich berichten (Art. 16). [5]

4.2 Situationen und Vorgänge in der Praxis

Gasfreimachung ist erforderlich, um Arbeiten an Leitungen oder Anlagen sicher durchzuführen. Sie tritt in zwei Hauptkategorien auf:

- Geplante Maßnahmen: Wartung, Instandhaltung, Umbauten, Inbetriebnahme oder Außerbetriebnahme von Leitungen und Anlagen.
- Störungen: Unvorhergesehene Ereignisse wie Leckagen, Schäden oder Druckprobleme, die eine schnelle Entspannung oder Freimachung erfordern.

Typische Situationen sind:

- Wartung und Instandhaltung (z. B. Armaturenwechsel, Stationsrevision),
- Reparaturen bei Leckagen oder Schäden,
- Außerbetriebnahme von Leitungsabschnitten oder Anlagen,
- Inbetriebnahme neuer Leitungen oder Stationen,
- Umbauten / Netzumbindungen (z. B. bei Neubaugebieten),
- Druckumstellungen (z. B. Anpassung an neue Betriebsbedingungen),
- Sicherheitsmaßnahmen bei Überdruck oder Gefahrensituationen.

Das Tool bewertet betriebsbedingte Maßnahmen ohne bauliche Änderungen (Ad-hoc-Maßnahmen), nicht langfristige Umbauten oder Notfallmaßnahmen mit baulichem Aufwand.

4.3 Alternative Maßnahmen

Die EU-MVO verpflichtet Betreiber dazu, routinemäßige Methanfreisetzungen zu vermeiden und Minderungsmaßnahmen einzusetzen. In der praktischen Anwendung stehen dafür verschiedene technische Maßnahmen zur Verfügung, die sich hinsichtlich Funktionsweise, Emissionsvermeidung, Energiebedarf, Transportaufwand und Einsatzgrenzen unterscheiden. Mit Transportaufwand ist hierbei der logistische Aufwand für den Transport der eingesetzten Geräte gemeint, also insbesondere Fahrten mit LKW, Tiefladern oder Anhängern, die für mobile Fackeln, mobile Verdichter oder Speicher erforderlich sind und selbst zusätzliche CO_2-Emissionen verursachen. Die Verordnung sieht dabei eine Vermeidungs- und Minderungshierarchie vor, nach der eine Rückverdichtung oder Wiedereinspeisung gegenüber thermischer Entsorgung zu bevorzugen ist, während ein Ausblasen nur als letzte Option zulässig bleibt.[5]

Das vorliegende Kapitel beschreibt die verfügbaren technischen Verfahren zur Minderung von Methanemissionen, ordnet diese in ein systematisch ein und erläutert, welche Verfahren im Tool EmissionsCheck abgebildet werden und welche bewusst ausgeschlossen sind.

Die in der Praxis eingesetzten Minderungsmaßnahmen lassen sich in vier Hauptkategorien unterteilen.

4.3.1 Vorbereitende Maßnahmen zur Reduzierung des auszublasenden Volumens

Erstens existieren vorbereitende Maßnahmen zur Reduzierung des auszublasenden Volumens. Dazu gehören unter anderem Abquetschen, Stopple- oder Blasensetzverfahren, Druckabsenkungen, der Einsatz von Vakuumpumpen sowie die Segmentierung von Leitungsabschnitten. Diese Maßnahmen minimieren die auszublasende Gasmenge, indem sie Leitungsabschnitte, die ausgeblasen werden müssen, verkleinern oder isolieren. Ihre konkrete Ausgestaltung variiert jedoch stark mit der jeweiligen Netz- und Leitungssituation. Daher bildet das Tool sie nicht als eigenständige technische Verfahren ab. Die Wirkung dieser Maßnahmen geht stattdessen über den Eingabeparameter „Volumenreduktion“ in die Berechnung ein, womit die Emissionsminderung in quantifizierbarer Form berücksichtigt wird.

4.3.2 Thermische Entsorgung durch den Einsatz mobiler Fackeln

Zweitens umfasst die thermische Entsorgung den Einsatz mobiler Fackeln. Hier wird das auszublasende Methan kontrolliert verbrannt, sodass unverbrannte Emissionen (CH_4-Slip) weitgehend reduziert werden. Bei der Verbrennung reagiert CH_4 zu CO_2. CO_2 wird emittiert, welches aufgrund der niedrigeren Emissionswirkung im Vergleich zu CH_4 (siehe Kapitel 6.3.2) zu einer Reduktion der Emissionen im Vergleich zum Ausblasen führen kann. Moderne mobile Fackeln erreichen hohe Zerstörungs- und Abscheidegrade und sind in unterschiedlichen Leistungsgrößen verfügbar, die für Verteilnetze ebenso wie für Transportnetze geeignet sind. Die Emissionswirkung besteht aus einem direkten Anteil (CO_2-Emissionen aus der Verbrennung und ggf. CH_4-Slip) sowie aus indirekten Betriebs- und Transportemissionen. Aufgrund der breiten praktischen Anwendung, der hohen Standardisierbarkeit und der Verfügbarkeit belastbarer technischer Daten bildet das Tool mobile Fackeln als Option ab. Die modellierten Eingangsgrößen umfassen insbesondere Zerstörungs- und Abscheidegrade, Hilfsenergiebedarf und Transportaufwand.

4.3.3 Mobile Verdichter und mobile Speicher

Drittens gehören mobile Verdichter und mobile Speicher zu den zentralen Maßnahmen der Rückverdichtung beziehungsweise Wiederverwertung. Durch mobile Verdichter wird das Erdgas in benachbarte Netzabschnitte zurückgepresst oder in mobile Speicher (Druckgasbehälter) geladen. Beide Verfahren ermöglichen es, direkte Methanemissionen nahezu vollständig zu vermeiden. Ihre Emissionswirkung hängt von der

Vermeidungsquote, dem Energiebedarf während des Betriebs, der Einsatzdauer und dem Transportaufwand ab. Aufgrund der klaren technischen Parameter, der Verfügbarkeit am Markt und der Übereinstimmung mit der in der EU-MVO geforderten Vermeidungs- und Minderungshierarchie sind sowohl mobile Verdichter als auch mobile Speicher im Tool modelliert.

4.3.4 Weitere Verfahren

Neben den genannten Verfahren existieren weitere technische Optionen, die aus methodischen und praktischen Gründen nicht im Tool berücksichtigt werden. Dazu gehören Hot-Tapping- und Line-Stopping-Verfahren, bei denen Leitungsabschnitte unter Druck angebohrt und mithilfe temporärer Bypässe oder Stopfen isoliert werden. Diese Verfahren ermöglichen Arbeiten im laufenden Betrieb und können in Verbindung mit Rückverdichtungstechniken eine vollständige Freisetzung vermeiden. Sie sind jedoch stark anlagen- und situationsspezifisch und erfordern eine umfangreiche ingenieurtechnische Planung. Aufgrund fehlender Standardparameter und der hohen Variabilität ihrer Emissionswirkung werden sie im Tool nicht separat abgebildet. Ihre Wirkung kann allerdings über eine erhöhte Volumenreduktion im Tool berücksichtigt werden.

Auch stationäre Einrichtungen wie fest installierte Fackeln, Rückspeisestationen oder Verdichteraggregate, die Teil der langfristigen Netz- und Anlagenstrategie sind, werden nicht modelliert. Sie verändern die infrastrukturelle Ausgangssituation grundsätzlich und wirken nicht als temporäre Maßnahme im Sinne einer einzelnen Druckentlastung. Sie gehören eher in Planungs- und Investitionsprozesse als in ein operatives Bewertungswerkzeug.

Weitere nicht abgebildete Optionen betreffen netzbetriebliche Maßnahmen wie Line-Packing (Netzpufferung), alternative Fahrweisen von Stationen oder Umleitung über selten genutzte Netzabschnitte. Diese beeinflussen in vielen Fällen das auszublasende Volumen, jedoch nicht über klare technische Kennwerte. Ihre Emissionswirkung lässt sich in der Regel über den Parameter „Volumenreduktion“ erfassen. Gleiches gilt für Spülverfahren mit Inertgasen wie Stickstoff, deren technische Ausführung und Emissionsrelevanz vom jeweiligen Anwendungsfall abhängen.

Schließlich existieren spezielle Oxidationsverfahren oder energetische Verwertungsverfahren, beispielsweise katalytische Oxidation oder Verbrennung in mobilen Aggregaten. Diese Technologien sind im Bereich der Gasverteilnetze bislang wenig verbreitet und unterliegen erheblichen technischen Variationen. Auch Rohr- und Materialerneuerungsmaßnahmen, die langfristig Methanverluste reduzieren können, liegen außerhalb des Anwendungsbereichs des Tools, da sie strukturelle Investitionsentscheidungen darstellen und keine temporären Minderungsmaßnahmen im Rahmen eines einzelnen Einsatzes sind.

Zusammenfassend berücksichtigt das Tool jene Maßnahmen, die im Netzbetrieb häufig angewendet werden, sich technisch klar parametrisieren lassen und mit der Vermeidungs- und Minderungshierarchie der EU-MVO konsistent sind. Andere Verfahren werden aufgrund ihrer Einzelfallabhängigkeit, mangelnden Standardisierbarkeit oder ihres Infrastrukturcharakters nicht direkt abgebildet, können jedoch indirekt, insbesondere über die Volumenreduktion, in die Bewertung einfließen.

5 Anwendungsbereich

Das Tool *EmissionsCheck* richtet sich an Betreiber von Gasnetzen sowie zugehöriger gastechnischer Anlagen. Es dient der quantitativen Bewertung von Emissionen, die bei der kontrollierten Druckentlastung von Leitungsabschnitten, Stationen oder Anlagenteilen entstehen, und ermöglicht den Vergleich technischer Minderungsmaßnahmen im Sinne der EU-MVO.

Das Tool wird angewendet, wenn Erdgas aus einem Anlagenteil gezielt abgeführt oder umgesetzt werden muss, um technische Arbeiten sicher durchführen zu können. Dazu zählen insbesondere

- planmäßige betriebliche Maßnahmen wie Wartung, Instandhaltung, Funktionsprüfungen, Umbindungen sowie In- oder Außerbetriebnahmen,
- anlassbezogene Maßnahmen infolge von Störungen oder Schadensereignissen, z. B. bei Leckagen, Baggerangriffen oder Überdrucksituationen, die eine kontrollierte Druckentlastung oder Gasfreimachung erforderlich machen,
- sowie vorbereitende Schritte zur Druckabsenkung, mit denen das auszublasende Gasvolumen reduziert wird.

Der Geltungsbereich umfasst Leitungsabschnitte in Verteil- und Fernleitungsnetzen sowie gastechnische Anlagen wie Druckregel-, Mess- und Verdichterstationen oder Übergabestellen.

Bewertet werden ausschließlich temporäre technische Maßnahmen, die ohne bauliche oder strukturelle Veränderungen der Anlage durchgeführt werden. Das Tool ist nicht für den Einsatz bei baulichen oder anlagentechnischen Änderungen vorgesehen, die zu einer dauerhaften Veränderung der Infrastruktur führen, etwa beim Neubau oder bei der Nachrüstung stationärer Einrichtungen wie Fackeln oder Verdichtersysteme. Emissionen, die im Zuge der Inbetriebnahme oder Außerbetriebnahme neuer oder sanierter Leitungsabschnitte entstehen, können dagegen mit dem Tool bewertet werden, sofern sie aus temporären Druckentlastungs- oder Entleerungsprozessen resultieren.

Das Tool quantifiziert sowohl direkte Methanemissionen und CO_2-Emissionen aufgrund der Verbrennung, die bei Entspannungs-, Verbrennungs- oder Freisetzungsvorgängen auftreten, als auch indirekte Treibhausgasemissionen, die durch Energiebedarf, Transport oder Hilfsstoffe alternativer Verfahren verursacht werden. Damit ermöglicht es eine systematische und nachvollziehbare Bewertung der emissionsseitigen Wirkung verschiedener technischer Minderungsmaßnahmen.

Die im Tool abgebildeten Verfahren umfassen:

- Rückführung und Wiederverwertung (z. B. mobile Verdichter, Rückspeisung, mobile Speicher),
- Thermische Entsorgung (mobile Fackeln),
- Vorbereitende Maßnahmen (indirekt).

Die Ergebnisse des Tools stellen eine orientierende und vergleichende Emissionsbewertung dar. Sie unterstützen Betreiber bei der technisch fundierten Auswahl, Dokumentation und Begründung von Minderungsmaßnahmen im Sinne der EU-MVO, ersetzen jedoch keine detaillierte Emissionsbilanzierung oder rechtliche Prüfung.

Die beschriebenen Minderungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 4.3) weisen in der betrieblichen Praxis unterschiedliche Einsatzschwerpunkte auf, die maßgeblich vom Druckniveau, den Leitungsdimensionen und den technischen Möglichkeiten der jeweiligen Netzebene abhängen. Zugleich bildet das Tool *EmissionsCheck* nur jene Verfahren ab, die sich anhand standardisierter Parameter zuverlässig modellieren lassen. Eine zusammenfassende Übersicht über die typischen Einsatzbereiche sowie die Abdeckung durch das Tool bietet Tabelle 5.1.

Tabelle 5.1: Einsatzbereiche der Verfahren und Tool-Scope

Verfahren	Kategorie	VL, ND	VL, MD	VL, HD	Fernleitung	Tool Scope
Volumenreduktion (Abquetschen, Abklemmung)	Vorbereitende Maßnahme	Sehr häufig	Häufig	Begrenzt	Selten	(x)
Stopple / Line-Stopping	Vorbereitende Maßnahme	Gelegentlich	Häufig	Häufig	Möglich	
Druckabsenkung	Vorbereitende Maßnahme	Häufig	Häufig	Häufig	Häufig	(x)
Segmentierung	Vorbereitende Maßnahme	Häufig	Häufig	Häufig	Häufig	(x)
Mobile Fackel (Kompakt)	Thermische Entsorgung	Häufig	Häufig	Gelegentlich	Selten	x
Mobile Fackel (Standard)	Thermische Entsorgung	–	Häufig	Häufig	Gelegentlich	x
Mobile Fackel (Hochleistung)	Thermische Entsorgung	–	–	Häufig	Häufig	x
Mobiler Verdichter (klein)	Rückverdichtung	Selten	Häufig	Häufig	Selten	x
Mobiler Verdichter (mittel)	Rückverdichtung	–	Häufig	Häufig	Häufig	x
Mobiler Verdichter (groß)	Rückverdichtung	–	–	Häufig	Häufig	x
Mobiler Speicher (MEGC)	Speicher	–	Gelegentlich	Häufig	Häufig	x
Mobiler Speicher (Flaschenbündel)	Speicher	Häufig	Gelegentlich	Selten	–	x
Hot Tapping	Spezialverfahren	–	Gelegentlich	Häufig	Häufig	
Inertgasverdrängung	Spezialverfahren	Gelegentlich	Gelegentlich	Gelegentlich	Selten	
Stationäre Einrichtungen	Strukturell	–	Gelegentlich	Häufig	Häufig	
Hinweis: x = direkt im Tool enthalten; (x) = indirekt im Tool enthalten						

6 Anleitung zur Nutzung des Tools EmissionsCheck

6.1 Methodik und Struktur des Tools

Das Tool *EmissionsCheck* unterstützt dabei, verschiedene technische Maßnahmen zur Reduzierung von Methanemissionen systematisch zu vergleichen. Grundlage der Berechnung ist diejenige Erdgasmenge, die im betrachteten Szenario ohne den Einsatz einer Minderungsmaßnahme freigesetzt würde.

Darauf aufbauend ermittelt das Tool, wie stark unterschiedliche Verfahren, etwa mobile Fackeln, mobile Verdichter, mobile Speicher oder Vakuumpumpen, die direkten und indirekten Emissionen reduzieren können. Vorbereitende Maßnahmen wie Segmentierung, Druckabsenkung oder Abquetschen können ebenfalls berücksichtigt werden, indem das wirksame Gasvolumen entsprechend reduziert wird.

Die Struktur des Tools ist so aufgebaut, dass die Eingabe der relevanten Einsatzdaten von den Gerätekatalogen und den hinterlegten Emissionsfaktoren getrennt ist. Die Berechnungen erfolgen automatisiert auf Grundlage der eingegebenen Werte sowie der zentral gepflegten Parameter. Die Ergebnisse werden tabellarisch und grafisch dargestellt, um eine schnelle Einordnung der Emissionswirkung der einzelnen Maßnahmen zu ermöglichen.

Tabelle 6.1 zeigt den strukturellen Aufbau des Tools.

Tabelle 6.1: Struktur des Excel-Tools

Arbeitsblatt	Beschreibung	Kapitel
Erläuterung	Allgemeine Erklärungen zur Nutzung des Tools.	-
Verfahrensvergleich	Berechnung und Vergleich der Emissionen verschiedener alternativen Maßnahmen	6.4.2
Mobile Fackeln	Berechnung und Vergleich der Emissionen verschiedener mobiler Fackeln	6.4.3
Mobile Verdichter & Speicher	Berechnung und vergleich der Emissionen verschiedener mobiler Verdichter und Speicher	6.4.4
Katalog mobile Fackeln	Auflistung verschiedener Modelle/Geräte sowie zugehöriger Parameter	6.5.1
Katalog mobile Verdichter		6.5.2
Katalog mobile Speicher		6.5.3
Parameter	Standardwerte und Umrechnungsfaktoren.	6.3
Literatur	Literaturhinweise	-
Impressum	Impressum	-

6.2 Erfasste Emissionen und Systemgrenzen

Das Tool bildet die Treibhausgasemissionen eines konkreten Einsatzszenarios zur Druckentlastung bzw. Gasfreimachung auf Vorgangsebene ab. Bewertet wird jeweils der Unterschied zwischen dem Referenzfall „Ausblasen“ und den alternativen Maßnahmen (Abfackeln, Rückverdichtung, mobile Speicher) für das im

Szenario angegebene Gasvolumen.

Erfasste Emissionen

Im Tool werden folgende Emissionsbeiträge berücksichtigt:

- **Direkte Emissionen**
  - Methanfreisetzung beim Ausblasen bzw. CH_4-Rest/Slip bei unvollständiger Verbrennung oder unvollständiger Rückverdichtung
  - CO_2-Emissionen aus der Verbrennung von Methan in mobilen Fackeln
- **Indirekte Betriebsemissionen**
  - Emissionen aus dem Energieeinsatz der eingesetzten Geräte (z. B. Strom, Diesel, Erdgas, ggf. weitere Energieträger), abgebildet über Emissionsfaktoren je Energieeinheit
- **Transportemissionen**
  - Emissionen aus dem Transport der eingesetzten Geräte und ggf. mobiler Speicher zum Einsatzort und zurück, abgebildet über Emissionsfaktoren je Fahrzeugklasse und Kilometer

Alle Beiträge werden als **CO_2-Äquivalente (CO_2e)** ausgewiesen. Methanemissionen werden hierzu mit dem im Tool hinterlegten GWP_{100}-Wert umgerechnet.

Systemgrenzen

Die Systemgrenzen des Tools sind auf den konkreten Einsatzfall begrenzt:

- **Zeitliche Systemgrenze**
  - Betrachtet wird der Zeitraum vom An- bis zum Abtransport der eingesetzten mobilen Technik einschließlich des eigentlichen Druckentlastungs- bzw. Abfackel- oder Verdichtungsvorgangs.
- **Sachliche Systemgrenze (einbezogene Prozesse)**
  - Freisetzung bzw. Verbrennung des im Szenario angegebenen Gasvolumens
  - Energieverbrauch der mobilen Fackeln, Verdichter und ggf. weiterer Geräte während des Einsatzes
  - Transport der Geräte und – falls genutzt – mobiler Speicher zum/vom Einsatzort
- **Nicht einbezogene Prozesse**
  - Herstellung, Wartung und Entsorgung der eingesetzten Geräte, Fahrzeuge und Speicher
  - Bau, Instandhaltung und Rückbau der Gasinfrastruktur (Leitungen, Stationen etc.)

Damit stellt EmissionsCheck keine vollständige Lebenszyklusanalyse dar, sondern ein praxisorientiertes Vergleichswerkzeug zur Bewertung der Treibhausgasemissionen alternativer technischer Maßnahmen bei einem einzelnen Einsatzfall. Die Ergebnisse sind entsprechend als relativer Vergleich der Optionen innerhalb der definierten Systemgrenzen zu interpretieren.

6.3 Standardwerte und Umrechnungsfaktoren

6.3.1 Annahmen

Die Emissionsberechnungen im Tool basieren auf den folgenden Referenzwerten und Annahmen. Insbesondere die Werte, die als Annahmen gekennzeichnet sind, könnten bei Bedarf angepasst werden.

Tabelle 6.2: Gaseigenschaften und Referenzwerte

Parameter	Symbol	Wert	Einheit	Literatur
Dichte von CH_4 unter Referenzbedingungen	ρ_{nCH4}	0,72	kg/m³	[6, S. 48]
Methan Volumenanteil (bzw. Raumanteil) des Gases	r_{nCH4}	90,00	%	Annahme; Eingabe
Global Warming Potential CH_4	GWP_{100}	28,9	-	[7]
Abscheide- und Zerstörungsgrad konservativ (mobile Fackel)	η_{comb}	98,00	%	Annahme[1]
Abscheide- und Zerstörungsgrad typisch (mobile Fackel)	η_{comb}	99,00	%	Annahme[1]
Abscheide- und Zerstörungsgrad best practice (mobile Fackel)	η_{comb}	99,70	%	Annahme[1]
Pilot-/Hilfsenergie konservativ (mobile Fackel)	$E_{aux,cons}$	10	kWh/Einsatz	Annahme[2]
Pilot-/Hilfsenergie typisch (mobile Fackel)	$E_{aux,typ}$	5	kWh/Einsatz	Annahme[2]
Pilot-/Hilfsenergie best practice (mobile Fackel)	$E_{aux,bp}$	2	kWh/Einsatz	Annahme[2]
CH_4-Vermeidungsquote konservativ (mobiler Verdichter)	$\eta_{avoid,cons}$	80,00	%	Annahme[3]
CH_4-Vermeidungsquote typisch (mobiler Verdichter)	$\eta_{avoid,typ}$	90,00	%	Annahme[3]
CH_4-Vermeidungsquote best practice (mobiler Verdichter)	$\eta_{avoid,bp}$	95,00	%	Annahme[3]
Hinweis 1: Die gewählten Zerstörungsgrade der mobilen Fackeln orientieren sich an den Vorgaben der EU-MVO (99 %) und verbreiteten Standardwerten für Fackeln sowie Herstellerangaben.				
Hinweis 2: Die im Tool verwendeten Werte für die Pilot- und Hilfsenergie je Fackeleinsatz werden aus typischen Pilotgasverbräuchen und Einsatzdauern hergeleitet (vgl. Anhang 2).				
Hinweis 3: Die CH_4-Vermeidungsquoten für mobile Verdichter leiten sich aus dem Stand der Technik ab. Hersteller und Dienstleister geben an, dass mit mobilen Verdichtern je nach Anwendungsfall nahezu das gesamte Gas eines abgesperrten Leitungsabschnitts zurückgewonnen werden kann.				

6.3.2 Methanemissionen in Kilogramm CO_2-Äquivalent

Die Umrechnung von Methanemissionen in Kilogramm CO_2-Äquivalente (kg CO_2e) erfolgt auf Basis des Global Warming Potentials (GWP) gemäß dem sechsten Sachstandsbericht des IPCC (AR6). Das GWP gibt an, wie stark ein Kilogramm eines Treibhausgases im Vergleich zu einem Kilogramm CO_2 zur Erderwärmung beiträgt, gemessen über einen definierten Zeitraum. Für Methan wird in der Regel ein Zeithorizont von 100 Jahren verwendet (GWP_{100}), bei dem das GWP von Methan gemäß IPCC AR6 auf 28,9 festgelegt ist [8]. Dieser Wert ist auch im Tool hinterlegt.

Die Umrechnung erfolgt durch Multiplikation der Methanemissionen, angegeben in Kilogramm (kg CH_4), mit dem GWP-Wert. So werden die Emissionen in CO_2-Äquivalente umgerechnet, die das Potenzial zur Erwärmung auf dieselbe Zeitskala ausdrücken. Beispielsweise entspricht ein Kilogramm Methan, multipliziert mit dem GWP_{100}-Wert von 28,9, etwa 28,9 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Dieser Ansatz ermöglicht es, die

Klimawirkung verschiedener Treibhausgase vergleichbar darzustellen.

6.4 Dateneingabe

6.4.1 Hinweise zu den Eingabefelder

Die Eingabe von Daten ist in den Tabellenblättern „Verfahrensvergleich“, „mobile Fackeln“, „mobile Verdichter und Speicher“ und „Vakuumpumpe“ erforderlich. Optional können auch Parameter in den Katalog-Blättern, „Parametern“ und „Emissionsfaktoren“ angepasst werden. Das Tool verwendet unterschiedliche Farbkodierungen, um die Art der erforderlichen Eingaben zu kennzeichnen:

Tabelle 6.3: Hinweise zu den Eingabefeldern

Farbe	Bedeutung
	Default-Wert / Voreinstellung; optional / zentral änderbar
	Eingabe erforderlich
	Auswahl über Dropdown / Vorgabe
	Automatische Berechnung / Zwischenergebnis
	Automatische Berechnung / Endergebnis

6.4.2 Verfahrensvergleich

6.4.2.1 Eingabe und Berechnungen

Das Blatt „Verfahrensvergleich“ stellt zwei technische Optionen zur Reduktion von Methanemissionen gegenüber dem Referenzfall „Ausblasen“ vergleichbar dar: Abfackeln (mobile Fackel) und Rückverdichtung (mobiler Verdichter). Für jedes Verfahren werden drei Szenarien (konservativ, typisch, best practice) ausgewiesen. Die Gesamtemissionen eines Verfahrens ergeben sich als Summe aus:

- direkten Emissionen (CO_2 aus Verbrennung und/oder CH_4-Rest/Slip),
- indirekten Betriebsemissionen (Energieeinsatz der Geräte) und
- Transportemissionen (An- und Abfahrt).

Für die Berechnung sind folgende Eingaben erforderlich:

Tabelle 6.4: Erforderliche Eingaben Verfahrensvergleich

Eingabe im Blatt	Symbol	Bedeutung	Einheit	Hinweis
Ausblasemenge	V_{ref}	Gasvolumen ohne Minderungsmaßnahmen	Nm^3	Normzustand (Nm^3) sicherstellen.
Volumenreduktion	f_V	Anteil, der durch vorbereitende Maßnahmen vermieden	%	Abquetschen/Druckabsenkung/Segmentierung einbeziehen.

		wird		
Transportdistanz	s	einfache Strecke je Einsatz	km	Hin- und Rückweg über Anzahl Fahrten abbilden.
Anzahl Fahrten	n	wie oft die einfache Strecke gefahren wird	–	Für Hin- und Rückfahrt i. d. R. 2; Mehrfachanfahrten entsprechend erhöhen.

Die Emissionsberechnungen basieren auf dem effektiven Volumen V. Unter effektivem Volumen wird das nach vorgelagerten Minderungsmaßnahmen verbleibende Gasvolumen verstanden. Dazu zählen u. a. Abquetschen/Absperren (Klemmgeräte), Stopple-/Blasensetzen (temporäre Bypässe), Druckabsenkung sowie ggf. Segmentierungen durch zusätzliche Schieberstellungen. Formal gilt:

$$\mathrm{V} = V_{\mathrm{Ref}} \cdot (1 - \mathrm{f_V}/100)$$

mit

V_{Ref} Referenzvolumen (bzw. Ausblasemenge ohne Maßnahmen) in Nm³ und

f_V Volumenreduktionsfaktor aus vorbereitenden Maßnahmen in %.

Alle weiteren Kenngrößen sind vorgegeben und können, falls erforderlich, zentral angepasst werden:

- physikalische/chemische Konstanten im Blatt „Parameter“,
- Emissionsfaktoren (Betrieb/Transport) im Blatt „Emissionsfaktoren“.

Tabelle 6.5: Kenngrößen Verfahrensvergleich, optional/zentral änderbar

Kenngröße	Symbol	Bedeutung	Einheit	Wo anpassen	Hinweis
Zerstörungs- und Abscheidegrad	η_{comb}	Anteil des verbrannten CH_4 beim Abfackeln	%	Parameter	Erhöht CO_2 aus Verbrennung, reduziert CH_4-Slip
CH_4-Vermeidungsquote	η_{avoid}	Anteil des CH_4, der durch Rückverdichtung vermieden wird	%	Parameter	reduziert Rest-CH_4 bei Verdichtung
Hilfsenergie (Fackel)	E_{aux}	Energiebedarf pro Einsatz (Zündflamme/ Peripherie)	kWh/ Einsatz	Parameter	Geht in Betriebsemissionen der Fackel ein
CO_2-Stöchiometriefaktor	f_{st}	CO_2-Masse pro kg verbranntes CH_4	kg CO_2/kg CH_4	Parameter	Für „CO_2 aus Verbrennung“
Global Warming Potential	GWP_{100}	Treibhauspotenzial von CH_4 (100 Jahre)	–	Parameter	Steuert Umrechnung $CH_4 \rightarrow CO_2e$
Betriebs-Emissionsfaktor	EF_{betr}	Emissionen pro kWh	kg CO_2e/kW	Emissionsfaktoren	Für Abfackeln

(Fackel)		Hilfsenergie	h		
Betriebs-Emissionsfaktor (Verdichter)	EF_{betr}	Emissionen je 1 000 Nm³ behandelten Gases	kg CO_2e/ 1000 Nm³	Emissionsfaktoren	Für Rückverdichtung
Transport-Emissionsfaktor	EF_{tr}	Emissionen pro gefahrenem Kilometer	kg CO_2e/km	Emissionsfaktoren	Für An-/Abfahrt

Die Emissionen werden anhand der folgenden Formeln berechnet :

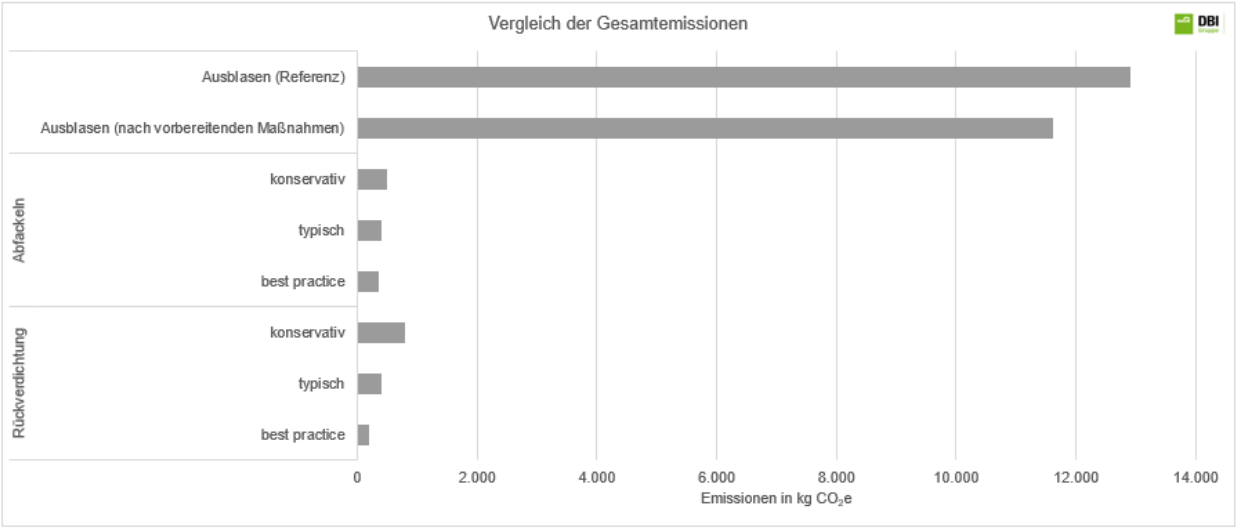
Tabelle 6.6: Emissionsberechnung Verfahrensvergleich

Größe	Formel	Bedeutung / Hinweis
Effektives Volumen	$V = V_{Ref} \cdot (1 - f_V/100)$	f_V als Anteil 0-100 %
Methanmasse	$m_{CH4} = V \cdot \rho_{n,CH4}$	$\rho_{n,CH4}$: Dichte bei Normbedingungen.
CO_2 aus Verbrennung (Fackel)	$m_{CO2,comb} = m_{CH4} \cdot \eta_{comb} \cdot f_{st}$	f_{st}: kg CO_2 je kg CH_4.
CH_4-Slip (Fackel)	$m_{CH4,slip} = (1 - \eta_{comb}) \cdot m_{CH4}$	Unverbrannter Anteil.
Direkte Emissionen (Fackel)	$E_{dir} = m_{CO2,comb} + m_{CH4,slip} \cdot GWP_{100}$	CO_2e aus Verbrennung + Slip.
Direkte Emissionen (Rückverdichtung)	$E_{dir} = \eta_{avoid} \cdot m_{CH4} \cdot GWP_{100}$	η_{avoid}: Vermeidungsquote 0-100 %
Betriebsemissionen (Fackel)	$E_{betr} = E_{aux} \cdot EF_{betr^{kWh}}$	E_{aux}: Hilfsenergie [kWh/Einsatz].
Betriebsemissionen (Verdichter)	$E_{betr} = V_{behandelt}/1.000 \cdot EF_{betr^{1.000\ Nm^3}}$	Basis: 1.000 Nm³.
Transportemissionen	$E_{tr} = s \cdot n \cdot EF_{tr}$	s: einfache Strecke [km]; n: Fahrtenzahl.
Gesamtemissionen	$E_{ges} = E_{dir} + E_{betr} + E_{tr}$	Summe aller Anteile.
Reduktionspotenzial	$Red_{\%} = 100 \cdot \left(1 - \frac{E_{ges}}{E_{ref}}\right)$	E_{ref} = „Ausblasen (Referenz)“

6.4.2.2 Ergebnisse

Der Bereich C. Ergebnisse fasst alle im Verfahrensblatt berechneten Werte zu einer vergleichbaren Übersicht zusammen. Für jedes Verfahren und jedes Szenario werden die direkten Emissionen, die indirekten Betriebsemissionen sowie die Transportemissionen ausgewiesen und zu Gesamtemissionen aggregiert. Zusätzlich wird ein Rang vergeben (1 = niedrigste Gesamtemissionen) und das Reduktionspotenzial gegenüber der Baseline „Ausblasen (Referenz)“ angegeben. Diese Baseline bleibt durchgängig gleich, damit die prozentuale Minderung über alle Verfahren konsistent interpretiert werden kann. Die Zeile „Ausblasen (nach vorbereitenden Maßnahmen)“ dient der Einordnung des bereits vor der eigentlichen Maßnahme erreichten Effekts; sie ersetzt nicht die Referenz.

Die Diagramme unter der Tabelle unterstützen diese Einordnung: Das obere Balkendiagramm zeigt den direkten Vergleich der Gesamtemissionen. Hier lassen sich Rangfolge und Abstände auf einen Blick erkennen. Das zweite Diagramm zerlegt jede Option nach Emissionsarten und macht sichtbar, warum eine Option besser oder schlechter abschneidet. Kleine Abstände zwischen Optionen sollten vorsichtig interpretiert werden, da sie innerhalb typischer Unsicherheiten von Eingaben und Emissionsfaktoren liegen können.



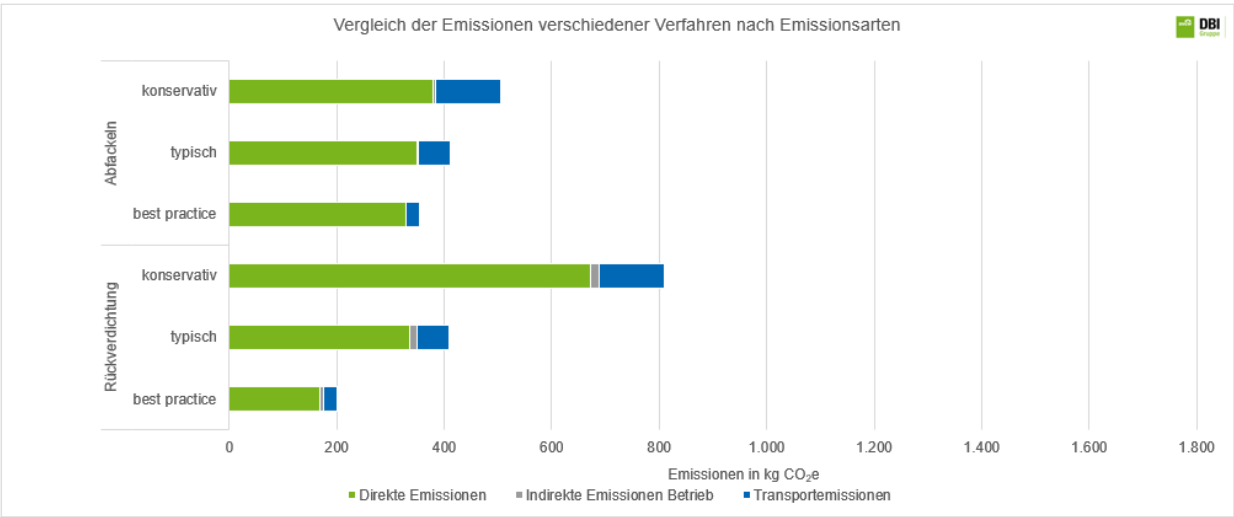


Abbildung 6.1: Ergebnisse Verfahrensvergleich

Bei der Interpretation sind mehrere Punkte zu beachten:

- Die Transportdistanz ist als einfache Strecke modelliert. Hin- und Rückweg oder der Einsatz mehrerer Fahrzeuge werden über die Fahrtenzahl abgebildet.
- Die Szenarien konservativ/typisch/best practice bündeln mehrere Annahmen gleichzeitig (z. B. Wirkungsgrad, Rest-CH_4/Vermeidungsquote, Hilfsenergie/Betriebs-EF, Transport). Unterschiede zwischen den Szenarien sind daher nicht auf einen Einzelparameter zurückzuführen. Soll eine bestimmte Ursache quantifiziert werden, empfiehlt sich eine Sensitivitätsanalyse: einen Parameter gezielt variieren (alle anderen konstant halten) und den Einzeleffekt ausweisen.
- Ergebnisse beziehen sich auf das effektive Volumen nach vorbereitenden Minderungsmaßnahmen. Abweichungen im praktischen Ablauf (z. B. zusätzliche Evakuierungszyklen, Leckagen, alternative Segmentierung) müssen außerhalb des Blatts dokumentiert werden.
- Bei kleinen Volumina können feste Anteile (Anfahrt, Hilfsenergie) dominieren. Bei großen Volumina gewinnen volumenproportionale Verfahren relativ an Vorteil.

6.4.3 Mobile Fackeln

6.4.3.1 Eingabe und Berechnungen

Das Excel-Blatt „mobile Fackeln“ bewertet den Einsatz mobiler Abfackelgeräte gegenüber der Referenz „Ausblasen“. Es ist analog zum Blatt Verfahrensvergleich aufgebaut und gliedert sich in A. Szenario / Einsatzdaten, B. Vergleich mobile Fackeln (Auflistung verschiedener Modelle mit Kennwerten) und C. Ergebnisse (Ranking und Reduktionspotenziale).

Die Gesamtemissionen je Gerät ergeben sich aus direkten Emissionen (CO_2 aus Verbrennung plus CH_4-Slip), indirekten Betriebsemissionen (Hilfsenergie je Energieträger) und Transportemissionen (An-/Abfahrt). Grundlage ist stets das effektive Volumen nach vorbereitenden Minderungsmaßnahmen.

Für die Berechnungen sind folgende Eingaben erforderlich:

Tabelle 6.7: Erforderliche Eingaben mobile Fackeln

Eingabe im Blatt	Symbol	Bedeutung	Einheit	Hinweis
Ausblasemenge (Referenz)	V_{ref}	Gasvolumen ohne Minderungsmaßnahmen	Nm³	Normzustand (Nm³) sicherstellen.
Volumenreduktion	f_V	Anteil, der durch vorbereitende Maßnahmen vermieden wird	%	Abquetschen/Stopple/Druckabsenkung/Segmentierung einbeziehen.
Transportdistanz	s	Einfache Strecke je Einsatz	km	Hin- und Rückweg über Anzahl Fahrten abbilden.
Anzahl Fahrten	n	Wie oft die einfache Strecke gefahren wird	–	Für Hin- und Rückfahrt i. d. R. 2; Mehrfachanfahrten entsprechend erhöhen.
Stromanschluss vorhanden?	–	Verfügbarkeit elektrischer Hilfsenergie	–	Dropdown; steuert sinnvolle Geräteauswahl.
Max. verfügbarer Stellplatz	–	Platzbedarf/zulässiges Transportmittel vor	–	Dropdown; z. B. PKW+Anhänger, LKW, Tieflader.

		Ort		
Netzebene	–	Einordnung des Einsatzgebiets	–	Dropdown; z. B. Verteilnetz/Transportnetz.
Fackeltyp/Kategorie	–	Vorauswahl nach Leistungs-/Baugröße	–	Dropdown; z. B. Kompakt-/Standard-/Hochleistungsfackel.
Maximale Dauer Fackelbetrieb	t_{max}	Maximale vorgesehene Zeitspanne für das Abfackeln	h	–
Mind. Erforderlicher Volumenstrom	Q_{min}	$Q_{min}=V/t_{max}$	Nm³/h	dient zur Einschränkung der möglichen Fackeln auf jene, deren Kapazität gleich oder größer ist.

Alle weiteren Kenngrößen sind vorgegeben und können, falls erforderlich, zentral angepasst werden:

- physikalische/chemische Konstanten im Blatt „Parameter“,
- Emissionsfaktoren (Betrieb/Transport) im Blatt „Emissionsfaktoren“.

Tabelle 6.8: Kenngrößen mobile Fackeln, optional/zentral änderbar

Kenngröße	Symbol	Einheit	Wo anpassen	Hinweis
Zerstörungs- und Abscheidegrad	η_{comb}	%	Katalog mobile Fackel	Beeinflusst CH_4-Slip ($1 - \eta_{comb}$) und damit direkte Emissionen.
Max. Volumenstrom	Q_{max}	Nm³/h	Katalog mobile Fackel	Max. Fackelkapazität
Auslastungsfaktor Fackel	$f_{Auslastung}$	-	Mobile Fackeln	
Hilfsenergie – Strom	$E_{aux(el)}$	kWh	Katalog mobile Fackel	Geht in Betriebsemissionen ein (× EF Strom).
Hilfsenergie – Propan	$m_{aux(C3H8)}$	kg/h	Katalog mobile Fackel	Betriebsemissionen (x t x EF Propan).
Hilfsenergie – Erdgas	$V_{aux(NG)}$	Nm³/h	Katalog mobile Fackel	Betriebsemissionen (x t x EF Erdgas).
Hilfsenergie – Diesel	$V_{aux(diesel)}$	l/h	Katalog mobile Fackel	Betriebsemissionen (x t x Diesel).
Transport-Fahrzeugklasse	–	–	Katalog mobile Fackel	Bestimmt passenden Transport-EF (Kleintransporter/LKW/Tieflader).
Transport-Emissionsfaktor	EF_{tr}	kg CO_2e/km	Emissionsfaktoren	Je Fahrzeugklasse; wirkt linear mit Distanz/Fahrten.
Emissionsfaktor Strom	$EF_{(el)}$	kg CO_2e/kWh	Emissionsfaktoren	Strommix anpassbar.
Emissionsfaktor Propan	$EF_{(C3H8)}$	kg CO_2e/kg	Emissionsfaktoren	Für Hilfsenergie Propan.
Emissionsfaktor	$EF_{(NG)}$	kg	Emissionsfaktoren	Für Hilfsenergie Erdgas.

Erdgas		CO_2e/Nm^3		
Emissionsfaktor Diesel	$EF_{(diesel)}$	kg CO_2e/l	Emissionsfaktoren	Für Hilfsenergie Diesel.
CO_2-Stöchiometriefaktor	f_{st}	kg CO_2/kg CH_4	Parameter	CO_2 aus verbranntem CH_4.
Global Warming Potential (100 a)	GWP_{100}	–	Parameter	Umrechnung $CH_4 \rightarrow CO_2e$.

Die Emissionen werden anhand der folgenden Formeln berechnet :

Tabelle 6.9: Emissionsberechnung mobile Fackeln

Größe	Formel	Bedeutung / Hinweis
Effektives Volumen	$V = V_{ref} \cdot (1 - f_V/100)$	f_V als Anteil 0–100 %
Methanmasse	$m_{CH4} = V \cdot \rho_{n,CH4}$	$\rho_{n,CH4}$: Dichte bei Normbedingungen
CO_2 aus Verbrennung	$m_{CO2,comb} = \eta_{comb} \cdot m_{CH4} \cdot f_{st}$	f_{st}: kg CO_2 je kg CH_4
CH_4-Slip	$m_{CH4,slip} = (1 - \eta_{comb}) \cdot m_{CH4}$	Unverbrannter Anteil
Direkte Emissionen	$E_{dir} = m_{CO2,comb} + m_{CH4,slip} \cdot GWP_{100}$	CO_2e aus Verbrennung + Slip
Dauer Fackelbetrieb	$t = V/(Q_{max} \cdot f_{Auslastung})$	Dauer des Vorgangs in h
Betrieb (Strom)	$E_{betr(el)} = t \cdot E_{aux(el)} \cdot EF_{el}$	$E_{aux(el)}$ in kWh
Betrieb (Propan)	$E_{betr(C3H8)} = t \cdot m_{aux(C3H8)} \cdot EF_{C3H8}$	$m_{aux(C3H8)}$ in kg/h
Betrieb (Erdgas)	$E_{betr(NG)} = t \cdot V_{aux(NG)} \cdot EF_{NG}$	$V_{aux(NG)}$ in Nm^3/h
Betrieb (Diesel)	$E_{betr(diesel)} = t \cdot V_{aux(diesel)} \cdot EF_{diesel}$	$V_{aux(diesel)}$ in l/h
Betriebsemissionen	$E_{betr} = E_{betr(el)} + E_{betr(C3H8)} + E_{betr(NG)} + E_{betr(diesel)}$	Summe aller Energieträger
Transportemissionen	$E_{tr} = s \cdot n \cdot EF_{tr}$	s: einfache Strecke [km]; n: Fahrtenzahl
Gesamtemissionen	$E_{ges} = E_{dir} + E_{betr} + E_{tr}$	Summe aller Anteile
Reduktionspotenzial	$Red_{\%} = 100 \cdot \left(1 - \frac{E_{ges}}{E_{ref}}\right)$	E_{ref} = „Ausblasen (Referenz)“

6.4.3.2 Ergebnisse

Der Bereich „C. Ergebnisse“ fasst die für jedes Gerät berechneten direkten Emissionen (CO_2 aus Verbrennung + CH_4-Slip), indirekten Betriebsemissionen (Hilfsenergien je Energieträger) und Transportemissionen zusammen und bildet daraus die Gesamtemissionen. Zusätzlich werden Rang (1 = niedrigste Gesamtemissionen) sowie das Reduktionspotenzial gegenüber der Baseline „Ausblasen (Referenz)“ ausgewiesen. Die Baseline bleibt konstant, damit Minderungsprozente über alle Geräte hinweg konsistent interpretiert werden können.

Die Tabelle (vgl. Abbildung 6.2) erlaubt den direkten Vergleich der Modelle.

Hinweis:

Die im Blatt „mobile Fackeln“ angezeigten Geräte stellen eine beispielhafte Vorauswahl dar. Die Auswahl kann bei Bedarf im separaten Blatt „Katalog mobile Fackel“ um ein Gerät erweitert werden. Ebenso können ausgewählte Parameter bestehender Geräte geändert werden (insbesondere bei getroffenen Annahmen). Bereich „B. Vergleich mobile Fackeln“ greift diese Katalogdatenänderungen automatisch auf, sodass die Emissionsbilanz und das Ranking sofort mit den aktualisierten Geräteeinträgen neu berechnet werden. Das hinzugefügte Gerät wird allerdings separat geführt.

C. Ergebnisse						
	Emissionen in kg CO_2 e					
Gerät/Modell	Direkte Emission	Indirekte Emissionen Betrieb	Transportemission	Gesamtemissionen	Rang	Vergleich zur Referenz (Ausblasen) - Reduktionspotenzial un
Ausblasen (Referenz)	26.010			26.010	12	0
Ausblasen (nach vorbereitenden Maßnahmen)	16.796			16.796	11	35%
Mobile Gasfackel S (Esders)	1.750	0	18	1768	4	93,2%
Mobile Gasfackel M (Esders)	1.750	0	18	1.768	4	93,2%
Mobile Gasfackel L (Esders)	1.750	6	18	1775	7	93,2%
MGF 0.5 (Lambda)	1.600	100	25	1.725	3	93,4%
MGF 3.0 (Lambda)	1.600	8	25	1633	1	93,7%
MGF 12.0 (Lambda)	1.600	16	30	1.645	2	93,7%
DN25 Abfackelgerät (Krohse, ohne Venturi-Düse)	1.750	4	18	1772	6	93,2%
DN50 Abfackelgerät (Krohse, ohne Venturi-Düse)	1.750	4	25	1.779	8	93,2%
Mobile Fackel (RMT)	1.750	4	25	1780	9	93,2%
Modul 1(OGE)	1.750	20	60	1.830	10	93,0%

Abbildung 6.2: Ergebnistabelle mobile Fackeln

Unterschiede entstehen typischerweise aus drei Quellen:

- Direktanteil: Bestimmt durch den Zerstörungs- und Abscheidegrad (CH_4-Slip). Ein höherer η_{comb} senkt den Slip und erhöht den Anteil von CO_2 aus der Verbrennung.
- Betrieb: Summe der genutzten Hilfsenergien (Strom, Propan, Erdgas, Diesel) mit ihren Emissionsfaktoren. Nicht genutzte Träger bleiben 0.
- Transport: Abhängig von Transportdistanz (als einfache Strecke), Fahrtenzahl und Fahrzeugklasse des Geräts (unterschiedliche Transport-EF). Schwere Geräte bzw. Tieflader können bei größeren Distanzen die Bilanz stärker dominieren.

Die Diagramme unter der Tabelle unterstützen die Einordnung:

- Das obere Balkendiagramm zeigt die Gesamtemissionen je Gerät und macht Rangfolge und Abstände sichtbar.
- Das zweite Diagramm zerlegt die Emissionen nach Emissionsarten und zeigt, ob Slip, Hilfsenergie oder Transport den Ausschlag gibt.
- Es besteht die Möglichkeit nicht relevante Geräte in den Diagrammen über die Filterfunktion in der Tabelle auszublenden.

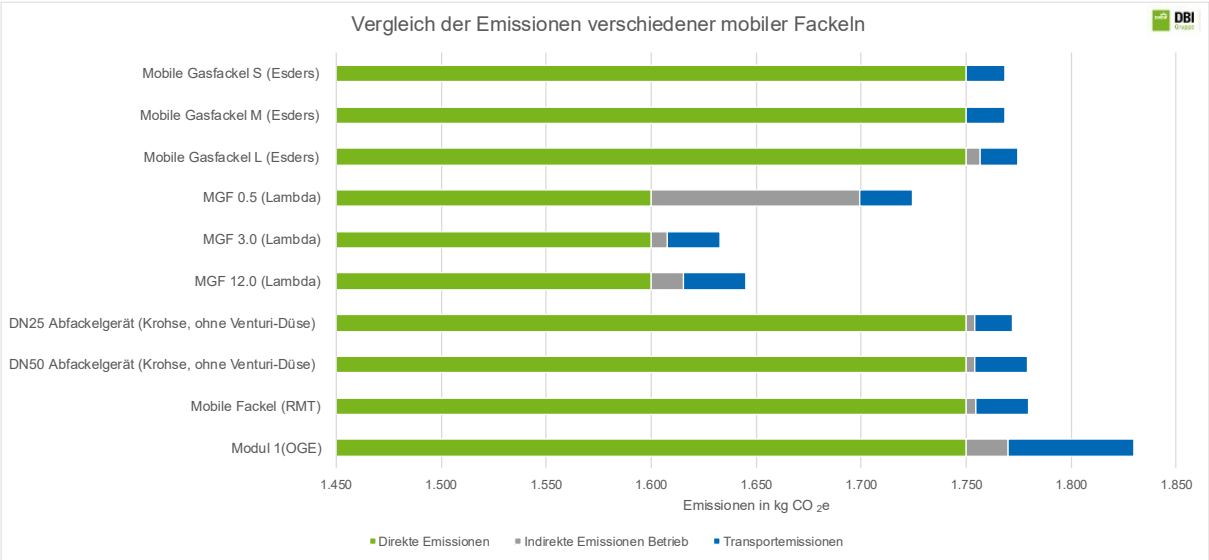


Abbildung 6.3: Ergebnisse mobile Fackeln

6.4.4 Mobile Verdichter und Speicher

6.4.4.1 Eingabe und Berechnungen

Das Blatt „mobile Verdichter & Speicher“ bewertet die Rückverdichtung von Erdgas mit mobilen Verdichtern, wahlweise mit Ableitung in andere Netzabschnitte (Pipeline) oder mit Zwischenspeicherung. Der Aufbau folgt dem Muster: A. Szenario/Einsatzdaten, B. Vergleich mobile Verdichter und Speicher (Modellvergleich inkl. speicherbezogener Angaben) und C. Ergebnisse (Gesamtemissionen, Rang, Reduktionspotenzial).

Die Gesamtemissionen je Gerätekonfiguration ergeben sich aus:

- direkten Emissionen (Rest-CH_4 = nicht rückverdichteter Anteil),
- indirekten Betriebsemissionen (Energie je Stunde × Einsatzzeit, mit zugehörigen Emissionsfaktoren),
- Transportemissionen, getrennt nach Verdichter-Transport und, falls Ziel = Speicher, Speicher-Transport.

Basis ist stets das effektive Volumen nach vorbereitenden Minderungsmaßnahmen (wie z.B. Abquetschen,

Stopple, Druckabsenkung, Segmentierung).

Für die Berechnungen sind folgende Eingaben erforderlich:

Tabelle 6.10: Emissionsberechnung mobile Verdichter und Speicher

Eingabe im Blatt	Symbol	Bedeutung	Einheit	Hinweis
Ausblasemenge (Referenz)	V_{ref}	Gasvolumen ohne Minderungsmaßnahmen	Nm³	Normzustand (Nm³) sicherstellen.
Volumenreduktion	f_V	Anteil, der durch vorbereitende Maßnahmen vermieden wird	%	vorbereitende Maßnahmen einbeziehen.
Ziel (Pipeline / Speicher)	–	Wohin wird rückverdichtet?	–	Dropdown; steuert die sichtbaren Felder im Bereich B.
Transportdistanz Verdichter	s_{vd}	Einfache Strecke des Verdichters	km	Hin-/Rückweg über Fahrtenzahl.
Anzahl Fahrten Verdichter	n_{vd}	Wie oft die einfache Strecke gefahren wird	–	i. d. R. 2 für Hin-/Rückfahrt.
(nur wenn Ziel = Speicher) Transportdistanz Speicher	s_{sp}	Einfache Strecke der Speicher-Transporte	km	bei Speicher
(nur wenn Ziel = Speicher) Anzahl Fahrten Speicher	n_{sp}	Fahrten für Speicherlogistik	–	bei Speicher
Stromanschluss vorhanden?	–	Verfügbarkeit elektrischer Leistung	–	Dropdown; Plausibilität der Gerätewahl.
geeigneter Umleitungspfad vorhanden?	–	Bypass/Anschluss für Pipeline-Rückführung	–	Dropdown; Relevanz bei Ziel = Pipeline.
mobiler Speicher nötig?	–	Entscheidung für Speicherlösung	–	Dropdown; blendet Speicherfelder ein/aus.
max. verfügbarer Stellplatz	–	Platz/Transportmittel vor Ort	–	Dropdown; z. B. PKW+Anhänger, LKW, Tieflader.

Alle weiteren Kenngrößen sind vorgegeben und können, falls erforderlich, zentral angepasst werden:

- physikalische/chemische Konstanten im Blatt „Parameter“,
- Emissionsfaktoren (Betrieb/Transport) im Blatt „Emissionsfaktoren“.

Tabelle 6.11: Kenngrößen mobile Verdichter und Speicher, optional/zentral änderbar

Kenngröße	Symbol	Einheit	Wo anpassen	Hinweis
CH_4-Vermeidungsquote	η_{avoid}	%	Katalog mobile Verdichter	Bestimmt Rest-CH_4 (direkte Emissionen).
Kapazität Nennvolumenstrom	Q_N	Nm³/h	Katalog mobile Verdichter	Für Laufzeit-Plausibilität
Energiebedarf Strom	P_{el}	kWh/h	Katalog mobile Verdichter	Betriebsemissionen $P_{el} \cdot t \cdot EF_{el}$
Energiebedarf Diesel	P_{diesel}	l/h	Katalog mobile Verdichter	Betriebsemissionen $P_{diesel} \cdot t \cdot EF_{diesel}$
Energiebedarf Erdgas	P_{NG}	Nm³/h	Katalog mobile Verdichter	Betriebsemissionen $P_{NG} \cdot t \cdot EF_{NG}$
Einsatzzeit	t	h	Berechnet / Katalog	Aus Volumen und Q_N berechnet oder Eingabe .
Fahrzeugklasse Verdichter	–	–	Katalog mobile Verdichter	Legt $EF_{tr,vd}$ fest (z. B. LKW/Tieflader).
Transport-EF Verdichter	$EF_{tr,vd}$	kg CO_2e/km	Emissionsfaktoren	Pro km der Verdichterfahrten.
Speichertyp (MEGC etc.)	–	–	Katalog mobiler Speicher	Auswahl für Speicherlogistik.
Transport-EF Speicher	$EF_{tr,sp}$	kg CO_2e/km	Emissionsfaktoren	Pro km der Speicherfahrten.
GWP (100 a)	GWP_{100}	–	Parameter	Umrechnung $CH_4 \rightarrow CO_2$e.
CH_4-Dichte (Norm)	$\rho_{n,CH4}$	kg/Nm³	Parameter	Für Massenumrechnung.

Die Emissionen werden anhand der folgenden Formeln berechnet:

Tabelle 6.12: Emissionsberechnung mobile Verdichter und Speicher

Größe	Formel	Hinweis
Effektives Volumen	$V = V_{ref} \cdot (1 - f_V/100)$	f_V im Bereich 0-100 %
Laufzeit (Plausibilität)	$t = \frac{V \cdot \eta_{avoid}/100}{Q_N}$	in Stunden
Direkte Emissionen	$E_{dir} = (1 - \eta_{avoid}/100) \cdot V \cdot \rho_{n,CH4} \cdot GWP_{100}$	Rest-CH_4 als CO_2e
Betriebsemissionen	$E_{betr} = (P_{el} \cdot t \cdot EF_{el}) +\cdot (P_{diesel} \cdot t \cdot EF_{diesel}) + (P_{NG} \cdot t \cdot EF_{NG})$	Summe je Energieträger
Transport Verdichter	$E_{tr,vd} = s_{vd} \cdot n_{vd} \cdot EF_{tr,vd}$	einfache Strecke × Fahrten
Transport Speicher	$E_{tr,sp} = s_{sp} \cdot n_{sp} \cdot EF_{tr,sp}$	nur wenn Ziel = Speicher; $E_{tr,sp}$= 0 bei Ziel = Pipeline

Gesamtemissionen	$E_{ges} = E_{dir} + E_{betr} + E_{tr,vd} + E_{tr,sp}$	Summe aller Anteile
Reduktionspotenzial	$Red_{\%} = 100 \cdot \left(1 - \frac{E_{ges}}{E_{ref}}\right)$	E_{ref} = „Ausblasen (Referenz)“

6.4.4.2 Ergebnisse

Der Bereich C. Ergebnisse weist für jede Konfiguration (Gerät ± Speicher) direkte Emissionen, Betriebsemissionen, Transport des Verdichters, ggf. Transport des Speichers und die Gesamtemissionen aus. Zusätzlich werden Rang (1 = niedrigste Gesamtemissionen) und das Reduktionspotenzial gegenüber „Ausblasen (Referenz)“ angegeben.

Die Tabelle (vgl. Abbildung 6.4) erlaubt den direkten Vergleich der Modelle.

Hinweis:

Die gelisteten Verdichter und (sofern vorhanden) Speichertypen sind beispielhafte Vorauswahlen. Neue Modelle können im „Katalog mobile Verdichter“ bzw. „Katalog mobiler Speicher“ ergänzt und bestehende Parameter angepasst werden. Bereich B übernimmt diese Daten automatisch. Die Bilanz und das Ranking aktualisieren sich entsprechend.

C. Ergebnisse

Geräte/Modelle	Emissionen in kg CO_2 e				Rang	Vergleich zur Referenz (Ausblasen) - Reduktionspotenzial un
	Direkte Emission	Indirekte Emissionen Betrie	Transportemission	Gesamtemissionen		
Ausblasen (Referenz)	26.010			26.010	9	0,0%
Ausblasen (nach vorbereitenden Maßnahmen)	16.796			16.796	8	35,4%
Mobile Verdichteranlage terranets	3.359	38	120	3.518	7	86,5%
Mobiler Verdichter OGE	840	4	180	1.024	1	96,1%
Gas-Mücke	1.680	47	50	1.777	3	93,2%
MoBiDic	3.359	4	120	3.483	6	86,6%
Thyssengas Typ 1	1.680	80	50	1.810	4	93,0%
Thyssengas Typ 2	1.680	1.081	50	2.811	5	89,2%
Thyssengas Typ 2 autark	1.680	0	50	1.730	2	93,4%

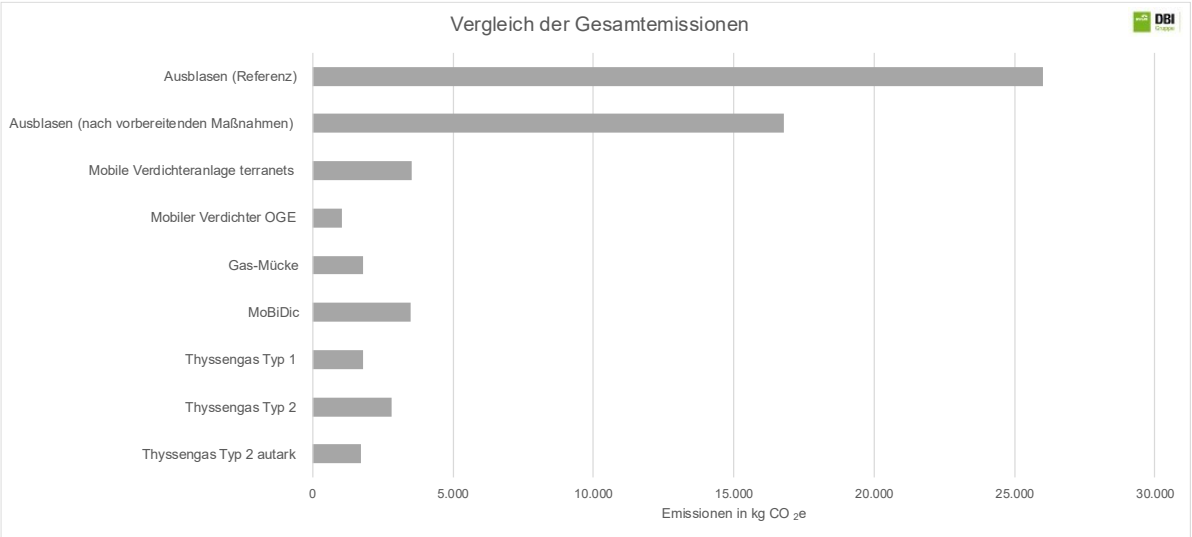
Abbildung 6.4: Ergebnistabelle mobile Verdichter und Speicher

Unterschiede entstehen typischerweise aus drei Quellen:

- Direktanteil: Bestimmt durch die CH_4-Vermeidungsquote. Eine höhere Vermeidungsquote senkt den verbleibenden CH_4-Rest und damit die direkten Emissionen. Bei niedriger Vermeidungsquote steigen die direkten Emissionen entsprechend.
- Betrieb: Emissionen aus dem Energieeinsatz des Verdichters (z. B. Strom, Diesel, Erdgas) über die Einsatzzeit. Maßgeblich sind Leistungsbedarf je Stunde und Dauer der Maßnahme. Ein hoher Volumenstrom kann die Laufzeit reduzieren.
- Transport: Setzt sich aus dem Transport des Verdichters und falls Ziel = Speicher, zusätzlich dem Transport des Speichers zusammen. Beide hängen von der Transportdistanz (als einfache Strecke), Fahrtenzahl und der Fahrzeugklasse ab (unterschiedliche Transport-EF). Schwere Fahrzeuge bzw. zusätzliche Speicherfahrten können die Bilanz beeinflussen.

Die Diagramme unter der Tabelle unterstützen die Einordnung:

- Das obere Balkendiagramm zeigt die Gesamtemissionen je Gerät und macht Rangfolge und Abstände sichtbar.
- Das zweite Diagramm zerlegt die Emissionen nach Emissionsarten und zeigt, ob Slip, Hilfsenergie oder Transport den Ausschlag gibt.
- Es besteht die Möglichkeit nicht relevante Geräte in den Diagrammen über die Filterfunktion in der Tabelle auszublenden.



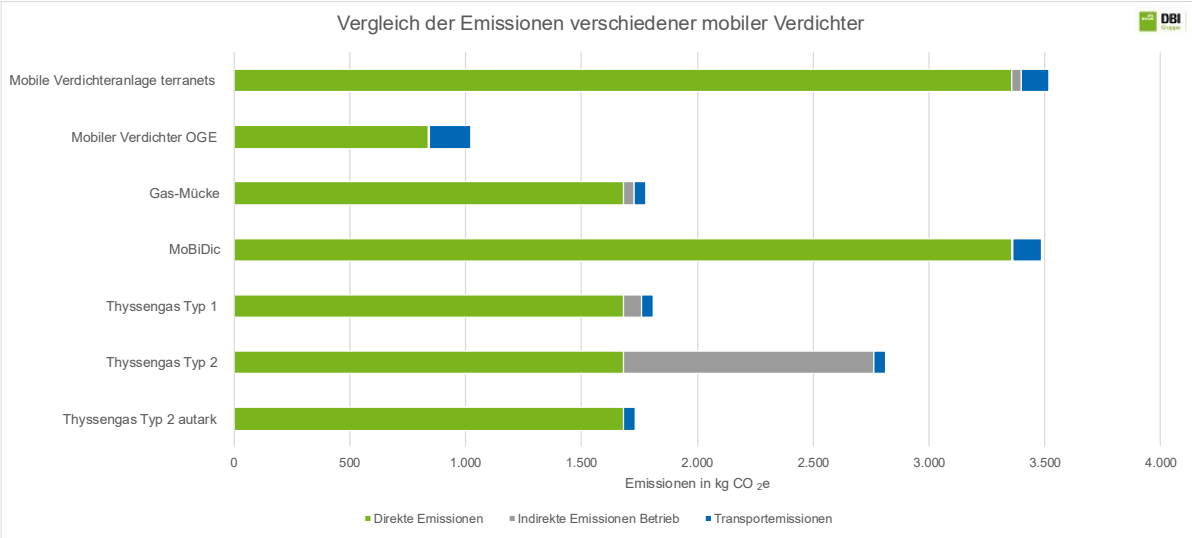


Abbildung 6.5: Ergebnisse mobile Verdichter und Speicher

6.5 Kataloge

6.5.1 Katalog mobile Fackeln

Der Katalog mobile Fackeln bildet die Grundlage für die automatisierte Auswahl und Bewertung mobiler Fackelsysteme im Tool. Er enthält relevante Geräteangaben, die für eine emissionsbasierte Entscheidungsunterstützung erforderlich sind. Die Erfassung erfolgt nach einem einheitlichen Schema, sodass die Geräte objektiv miteinander verglichen werden können. Der Katalog dient insbesondere den folgenden Zwecken:

- Dokumentation der technischen Grundlagen inklusive Hersteller- und Quellenangaben,
- Identifikation technisch geeigneter Fackeln basierend auf Einsatzparametern (z.B. Volumen, Druck, Stromverfügbarkeit, Platzbedarf),
- Berechnung von Emissionen basierend auf Geräteparametern (CH_4-Slip, CO_2 aus Verbrennung, Hilfsenergie-Emissionen, Transportemissionen),
- Vergleich aller Optionen in Form von Tabellen und Diagrammen

Folgende Parameter werden erfasst:

Tabelle 6.13: Parameter Katalog mobile Fackeln

Parameter	Beschreibung	Zweck im Tool
Modell	Gerätebezeichnung	Eindeutige Zuordnung im Katalog und in Berechnungen
Hersteller	Anbieter des Geräts	Quellenprüfung, Nachvollziehbarkeit
Netzebene	Verteilnetz, Transportnetz	Filtert Fackeln je nach Einsatzumfeld
Kategorie	Kompakt-, Standard- oder Hochleistungsfackel	Grobe technische Einordnung, Leistungsgruppe
Kapazität Volumenstrom [Nm³/h]	Maximale Verbrennungsleistung	Entscheidung, ob Fackel das Einsatzvolumen bewältigen kann
Zusatz	Hinweise zu Betriebsbedingungen	Ergänzende technische Rahmenbedingungen
Druckbereich	Min/Max Betriebsdruck	Ausschluss technisch ungeeigneter Geräte
Zugfahrzeug	Fahrzeugtyp zur Beförderung	Bestimmung der Transportlogistik
Zugfahrzeug standardisiert	Normierte Fahrzeugklasse	Einheitliche Emissionsberechnung
Platzbedarf	PKW-Anhänger, LKW, Tieflader	Prüfung der logistischen Bedingungen am Einsatzort
Stromanschluss erforderlich?	Ja/Nein	Filtert Geräte bei fehlender Stromversorgung
Zerstörungs- und Abscheidegrad [%]	Anteil tatsächlich verbrannten Methans	Grundlage für Slip-Berechnung (CH_4-Emission)
η_{comb} basierend auf	Quelle: Herstellerangabe oder Annahme	Transparenz über Datenqualität
Antriebsart	Strom, Propan, Autotherm, Generator	Bestimmt Art und Höhe der Hilfsenergie
Pilot-/Hilfsenergie Strom [kWh]	Benötigter Strom	Berechnung CO_2-Emissionen
Pilot-/Hilfsenergie Propan [kg/h]	Propanverbrauch	Berechnung CO_2-Emissionen
Pilot-/Hilfsenergie Erdgas [Nm³/h]	Erdgasverbrauch	Berechnung CO_2-Emissionen
Pilot-/Hilfsenergie Diesel [l/h]	Dieselverbrauch	Berechnung CO_2-Emissionen
Quelle/Infos	z.B. Link zum Hersteller	Nachvollziehbarkeit, Transparenz

Der Katalog umfasst bereits eine Auswahl marktgängiger Geräte verschiedener Hersteller, die unterschiedliche Leistungs- und Einsatzbereiche abdecken. Um eine technische Orientierung und eine konsistente Geräteauswahl zu gewährleisten, werden die Fackeln im Tool in drei Kategorien unterteilt: Kompaktfackeln, Standardfackeln und Hochleistungsfackeln. Diese Klassifizierung basiert auf der maximalen

Verbrennungskapazität sowie den typischen Einsatzbereichen der Geräte und unterstützt bei der Auswahl geeigneter Optionen.

Kompaktfackeln verfügen über geringe bis mittlere Volumenströme und werden überwiegend im Verteilnetz eingesetzt. Sie eignen sich insbesondere für kleinere Leitungsabschnitte, Instandhaltungsarbeiten oder kontrollierte Entspannungen mit begrenzten Ausblasemengen. Standardfackeln decken einen breiteren Leistungsbereich ab und sind für typische Netzbetriebsfälle konzipiert, in denen weder sehr kleine noch sehr große Volumenströme auftreten. Hochleistungsfackeln hingegen sind für große Abgabemengen, industrielle Anwendungen oder Einsätze im Transportnetz vorgesehen und erfordern oft spezielle Transport- oder Stromversorgungsbedingungen.

Die im Tool hinterlegten Modelle stellen eine Beispielbasis dar. Der Katalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und kann um ein weiteres Gerät erweitert werden.

Tabelle 6.14: Geräte/Modelle im Katalog mobile Fackeln

Kategorie	Modell	Hersteller
Kompaktfackeln	Mobile Gasfackel S	Esders GmbH
	Mobile Gasfackel M	Esders GmbH
	MGF 0.5	LAMBDA GmbH
	DN25 Abfackelgerät	Krohse
Standardfackeln	MGF 3.0	LAMBDA GmbH
Hochleistungsfackeln	Mobile Gasfackel L	Esders GmbH
	MGF 12.0	LAMBDA GmbH
	DN50 Abfackelgerät	Krohse
	Mobile Fackel	RMT Anlagenbau
	Modul 1	OGE

6.5.2 Katalog mobile Verdichter

Der Katalog mobile Verdichter bildet die Grundlage für die automatisierte Auswahl und Bewertung mobiler Verdichtungssysteme im Tool. Er enthält relevante technische Angaben der Geräte, die für eine emissionsbasierte Entscheidungsunterstützung erforderlich sind. Die Erfassung erfolgt nach einem einheitlichen Schema, sodass die Verdichter objektiv miteinander verglichen und hinsichtlich ihrer Eignung für konkrete Einsatzszenarien bewertet werden können.

Der Katalog unterstützt insbesondere folgende Funktionen:

- Dokumentation der technischen Grundlagen, einschließlich Hersteller- und Quellenangaben,
- Identifikation technisch geeigneter Verdichter basierend auf Einsatzparametern wie Saugdruck, Enddruck, Netzebene, Transportanforderungen oder Energieversorgung,
- Berechnung von Emissionen,
- Bewertung der CH_4-Vermeidungsquote gegenüber einer unkontrollierten Freisetzung,
- Vergleich der Geräte hinsichtlich Effizienz, technischer Leistungsfähigkeit und Einsatzgrenzen.

Folgende Parameter werden erfasst:

Tabelle 6.15: Parameter Katalog mobile Verdichter

Parameter	Beschreibung	Zweck im Tool

Modell	Bezeichnung des Verdichters	Eindeutige Zuordnung im Katalog und in Berechnungen
Hersteller	Anbieter des Geräts	Quellenprüfung, Nachvollziehbarkeit
Anwendung	Netzebene oder Einsatzumfeld	Filterung geeigneter Verdichter
Einsatzzweck	Umpumpen in Leitung / Speicher	Zuordnung des Anwendungsfalls
Abmessungen (L×B×H)	Platz- und Transportbedarf	Logistikprüfung am Einsatzort
Energiequelle	Diesel, Gas, Strom, Druckluft	Grundlage der Emissionsberechnung
Verbrauch Diesel [l/h]	Dieselverbrauch	Berechnung CO_2-Emissionen
Verbrauch Erdgas [Nm³/h]	Gasverbrauch	Berechnung CO_2-Emissionen
Verbrauch Strom [kWh]	Strombedarf	Berechnung CO_2-Emissionen
CH_4-Vermeidungsquote [%]	Anteil vermiedener Methanemission gegenüber Ausblasen	Bewertung Umweltwirkung
Quelle CH_4-Vermeidungsquote	Herstellerangabe oder Schätzung	Transparenz über Datenqualität
Stromanschluss erforderlich?	Ja/Nein	Filter bei fehlender Stromversorgung
Kapazität Volumenstrom [Nm³/h]	Max. Verdichtungsleistung	Prüfung technischer Eignung
Min. Saugdruck [bar]	Erforderlicher Eingangsdruck	Ausschluss ungeeigneter Geräte
Max. Enddruck [bar]	Erreichbarer Betriebsdruck	Abgleich mit Einsatzanforderungen
Zugfahrzeug	Transportfahrzeug	Bestimmung der Transportlogistik
Zugfahrzeug standardisiert	Normklasse für Emissionsberechnung	Einheitliche Bewertung
Quelle/Informationen	Herstellerlink o. Ä.	Nachvollziehbarkeit, Transparenz

Der Katalog umfasst eine Auswahl mobiler Verdichter verschiedener Betreiber und Hersteller, die unterschiedliche Leistungsklassen und Einsatzumgebungen abdecken – vom kleinen, elektrisch betriebenen Kompaktverdichter im Verteilnetz bis hin zu großskaligen Hochdruckverdichtern für das Transportnetz. Die Auswahl stellt eine Beispielbasis dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der Katalog kann durch ein weiteres Geräte ergänzt werden.

Tabelle 6.16: Geräte/Modelle im Katalog mobile Verdichter

Modell	Hersteller	Anwendung
Mobile Verdichteranlage	terranets bw	Transportnetz
Mobiler Verdichter OGE	OGE	Transportnetz
Gas-Mücke	CeH4	Verteilnetz
MoBiDic	ONTRAS / Neuman & Esser	Transportnetz
Thyssengas Typ 1	Thyssengas	Verteilnetz

Thyssengas Typ 2	Thyssengas	Verteilnetz
Thyssengas Typ 2 autark	Thyssengas	Verteilnetz

6.5.3 Katalog mobile Speicher

Der Katalog mobile Speicher dient als Grundlage für die automatisierte Auswahl geeigneter mobiler Speicherlösungen im Tool. Er beinhaltet technische und logistische Eigenschaften verschiedener Speicherbehälter und Transportlösungen, die eingesetzt werden können. Die Erfassung erfolgt in einem einheitlichen Schema und ermöglicht es, unterschiedliche Speicherformen hinsichtlich Transportanforderungen, Einsatzbereich, Kapazität und praktischer Einsetzbarkeit objektiv miteinander zu vergleichen.

Mobile Speicher werden im Gasnetzbetrieb typischerweise eingesetzt, um Leitungsvolumina aufzunehmen, temporäre Versorgungslücken zu überbrücken oder Druckbereiche kontrolliert zu entlasten. Je nach Netzebene, Platzverhältnissen und erforderlicher Speichermenge kommen unterschiedliche Systemtypen zum Einsatz: von kleinen Flaschenbündeln im Verteilnetz bis hin zu großvolumigen MEGC-Containern (Multiple-Element Gas Container) für das Transportnetz.

Der Katalog unterstützt insbesondere folgende Funktionen:

- Dokumentation der technischen Grundlagen, einschließlich Speicherform, Transportmittel und Einsatzhinweisen,
- Identifikation geeigneter Speicherlösungen abhängig von Volumenbedarf, Netzebene, Transportlogistik,
- Berechnung der Transportemissionen basierend auf standardisierten Fahrzeugklassen.

Anders als bei mobilen Fackeln und Verdichtern enthält dieser Katalog keine herstellerspezifischen Modelle, sondern erfasst allgemeine Speichertypen, wie sie im Netzbetrieb typischerweise verwendet werden. Die hinterlegten Speicherformen stellen eine Beispielbasis dar. Der Katalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Folgende Parameter werden erfasst:

Tabelle 6.17: Parameter Katalog mobile Speicher

Parameter	Beschreibung	Zweck im Tool
Modell (Speichertyp)	Speicherform bzw. Systemtyp, nicht herstellergebunden	Eindeutige Zuordnung im Katalog und in Berechnungen
Netzebene	Verteilnetz, Transportnetz, Anlage	Filterung geeigneter Speicher
Fahrzeug	Typisches Transportfahrzeug	Bestimmung der Transportlogistik
Fahrzeug standardisiert	Normierte Fahrzeugklasse	Grundlage zur Emissionsberechnung
Einsatzbereich / Hinweis	Typische Einsatzzwecke und Besonderheiten	Orientierung, Einsatzgrenzen, Planung

6.6 Emissionsfaktoren

In dem Tabellenblatt „Emissionsfaktoren“ sind sämtliche Emissionsfaktoren aufgelistet und für die Berechnung der Methanemissionen mit den Eingabeblättern verknüpft. Die Werte basieren auf Literaturangaben, Herstellerangaben und Annahmen. Bei Bedarf können die Werte angepasst werden.

Tabelle 6.18: Emissionsfaktoren in kg CO_2e

Kategorie	Bezeichnung/Objekt	Einheit	EF Wert	Quelle
Transportmittel	Kleintransporter (bis 3,5 t)	km	0,25	[9]
Transportmittel	Mittlerer LKW (3,5–7,5 t)	km	0,3	[9]
Transportmittel	Schwerer LKW (> 7,5 t)	km	0,6	[9]
Transportmittel	PKW (Diesel)	km	0,18	[9]
Transportmittel	PKW (Benzin)	km	0,2	[9]
Transportmittel	PKW (Elektro)	km	0,1	[9]
Transportmittel	PKW (Hybrid)	km	0,12	[9]
Transportmittel	Transporter (Diesel)	km	0,25	[9]
Transportmittel	Transporter (Elektro)	km	0,08	[9]
Transportmittel	Tieflader mit Zugmaschine	km	0,8	[9]
Transportmittel	Transport konservativ	km	0,6	Annahme
Transportmittel	Transport typisch	km	0,6	Annahme
Transportmittel	Transport best practice	km	0,6	Annahme
Energie	Strommix Deutschland (2023)	kWh	0,388	[9]
Energie	Diesel (Verbrennung)	l	2,67	[9]
Energie	Erdgas (Verbrennung)	Nm³	1,98	[9]
mobiler Verdichter	Betriebs-EF konservativ	1000 Nm³	120	Annahme[1]
mobiler Verdichter	Betriebs-EF typisch	1000 Nm³	80	Annahme[1]
mobiler Verdichter	Betriebs-EF best practice	1000 Nm³	50	Annahme[1]
mobile Fackel	CO_2 aus CH_4-Verbrennung	kg	2,75	

Hinweis 1: Für den Betrieb der mobilen Verdichter liegen keine veröffentlichten spezifischen Emissionsfaktoren vor. Die angegebenen Emissionsfaktoren basieren darauf, dass Verdichter in der Literatur 3-5 % des Gasstroms als Brennstoff verbrauchen und die Verbrennung von 1 Nm³ Erdgas ca. 1,98 kg CO_2 erzeugt. Daraus ergeben sich 50/80/120 kg CO_2 pro 1.000 Nm³ als Abschätzung für die drei Szenarien (vgl. Anhang 1).

7 Ausblick

Das Tool *EmissionsCheck* stellt eine Berechnungsgrundlage dar, um Methanemissionen verschiedener technischer Maßnahmen systematisch zu erfassen und vergleichbar zu bewerten. Es ermöglicht eine transparente und nachvollziehbare Entscheidungsdokumentation im Sinne der EU-Methanemissionsverordnung und unterstützt Betreiber dabei, Minderungsmaßnahmen fachlich begründet auszuwählen. Mit zunehmender Anwendung werden sich zusätzliche Erfahrungen und Hinweise aus dem Netzbetrieb ergeben, die genutzt werden können, um das Tool weiter zu verfeinern oder um zusätzliche Geräte und Parameter zu ergänzen oder anzupassen.

Parallel zur Umsetzung der EU-MVO gewinnt die Transformation der Gasnetze hin zu Wasserstoff weiter an Bedeutung. Mit der schrittweisen Umstellung einzelner Netzabschnitte wird sich auch das Spektrum geeigneter technischer Maßnahmen verändern. Einige der heute eingesetzten Fackeln, Verdichter oder Speichersysteme können nur eingeschränkt oder technisch modifiziert im Wasserstoffbetrieb eingesetzt werden. Die Weiterentwicklung des Tools wird daher berücksichtigen müssen, welche Technologien sowohl für Erdgas als auch für Wasserstoff relevant bleiben und wo künftig unterschiedliche Emissions-, Betriebs- oder Sicherheitsparameter erforderlich werden.

Auch regulatorisch ist wahrscheinlich damit zu rechnen, dass Anforderungen an die Dokumentation von Freisetzungen sowohl von Methan als auch von Wasserstoff weiter konkretisiert werden. Das Tool ist so aufgebaut, dass Änderungen bei Emissionsfaktoren, GWP-Werten oder zusätzlichen Berichtspflichten eingepflegt werden können.

Ein weiterer Aspekt, der bislang nicht berücksichtigt wurde, ist die ökonomische Bewertung der Maßnahmen. *EmissionsCheck* fokussiert derzeit ausschließlich auf die Emissionsbilanz, ohne Investitions-, Betriebs- oder Transportkosten einzubeziehen. Perspektivisch wäre jedoch auch eine Kostenanalyse denkbar, etwa um die Wirtschaftlichkeit verschiedener Minderungsoptionen gegenüberzustellen oder um eine kombinierte ökologische und ökonomische Entscheidungsgrundlage zu schaffen.

Insgesamt soll *EmissionsCheck* ein anwenderfreundliches und praxisnahes Werkzeug sein, dessen zukünftige Versionen vor allem darauf ausgerichtet sein werden, aktualisierte Rahmenbedingungen, technische Entwicklungen und Rückmeldungen der Anwender einzubeziehen.

Literaturverzeichnis

[1] *Mobile Fackelanlagen: Transportsicherung und Klimaschutz.* [Online]. Verfügbar unter: https://oge.net/de/presse-oeffentlichkeit/mediathek?category=ad365886-d057-4918-a980-1b4a573a90f0&y=&q=

[2] *Mobile Gasfackel: für Reparatur und Instandsetzungsarbeiten*, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lambda.de/wp-content/uploads/2025/09/Datenblatt_MobileGasfackel.pdf

[3] OGE. "Hot tapping and Plugging." Zugriff am: 14. November 2025. [Online.] Verfügbar: https://oge.net/en/natural-gas-biogas/services/technical-services/network-products/hot-tapping-and-plugging

[4] RMT Rohr- und Maschinenanlagentechnik GmbH. "Anbohren und Stopplen." Zugriff am: 14. November 2025. [Online.] Verfügbar: https://www.rmt-anlagenbau.de/ueber-uns/technologie/anbohren-und-stopplen/

[5] Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union, *Verordnung (EU) 2024/1787 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 über die Verringerung der Methanemissionen im Energiesektor und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/942Text von Bedeutung für den EWR.*, 2024. Zugriff am: 15. Juli 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401787

[6] G. Cerbe und B. Lendt, *Grundlagen der Gastechnik: Gasbeschaffung - Gasverteilung - Gasverwendung,* 8. Aufl. (Studienbücher der technischen Wissenschaften). München: Hanser, 2017.

[7] IPCC AR6 Working Group I, "Summary for Policymakers: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," in *Climate change 2021: The physical science basis : Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, V. Masson-Delmotte, Hg., Cambridge: Cambridge University Press, 2023, S. 3–32. Zugriff am: 12. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

[8] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Rep. 6, 2021.

[9] Umweltbundesamt. "Emissionsfaktoren zur Treibhausgasbilanzierung von Organisationen." Zugriff am: 16. November 2025. [Online.] Verfügbar: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/wirtschaft-umwelt/umwelt-energiemanagement/emissionsfaktoren-zur-treibhausgasbilanzierung-von#erstellungsprozess

[10] Suming Wu, R.Z. Rios-Mercado, E.A. Boyd und L.R. Scott, "Model Relaxations for the Fuel Cost Minimization of Steady-State Gas Pipeline Networks," *Mathematical and Computer Modelling*, Nr. 31, S. 197–220, 2000.

Anhang

Anhang 1: Herleitung der betrieblichen Emissionsfaktoren für mobile Rückverdichter 40

Anhang 2: Herleitung Pilot- und Hilfsenergie mobile Fackel 40

Anhang 1: Herleitung der betrieblichen Emissionsfaktoren für mobile Rückverdichter

Für mobile Rückverdichter sind in der Literatur keine spezifischen Emissionsfaktoren dokumentiert. Die im Tool verwendeten Werte (50 / 80 / 120 kg CO_2e je 1000 Nm³ behandeltes Gas) werden daher aus allgemeinen Energie- und Emissionsdaten aus der Literatur abgeleitet. Die Herleitung stützt sich auf folgende Grundlagen:

(1) Emissionsfaktor für Erdgas:

Laut Umweltbundesamt verursacht die Verbrennung von Erdgas etwa 1,98 kg CO_2 pro Nm³ verbranntem Erdgas .

(2) Typischer Brennstoffverbrauch von Verdichtern:

Studien zum Erdgastransport zeigen, dass stationäre Verdichter ungefähr 3 bis 5 Prozent des durchgesetzten Gasvolumens als Brennstoff benötigen [10]. Da mobile Rückverdichter nach demselben technischen Prinzip arbeiten (Kompression mittels gasmotorischen Antriebs) und häufig unter weniger idealen Bedingungen betrieben werden, kann der Bereich von 3 bis 5 Prozent als konservative und belastbare Annäherung verwendet werden. Für die Bewertung werden folgende Brennstoffanteile angesetzt:

- 2,5 % (best practice)
- 3,5 % (typisch)
- 5,0 % (konservativ)

(3) Ableitung der spezifischen Emissionen:

Wird ein Anteil des Gasstroms von 3 bis 5 Prozent als Brennstoff verbraucht, entspricht dies bei 1000 Nm³ behandeltem Gas einem Brennstoffbedarf von 30 bis 50 Nm³. Bei einem Emissionsfaktor von etwa 1,98 kg CO_2 pro Nm³ entstehen daraus rund 60 bis 100 kg CO_2 pro 1000 Nm³. Um unterschiedliche Effizienzniveaus sowie Unsicherheiten (z. B. Teillastbetrieb, Nebenaggregate, betriebliche Verluste) abzubilden, werden drei Szenarien verwendet:

- Best practice: ca. 50 kg CO_2e je 1000 Nm³
- Typisch: ca. 80 kg CO_2e je 1000 Nm³
- Konservativ: ca. 120 kg CO_2e je 1000 Nm³.

Anhang 2: Herleitung Pilot- und Hilfsenergie mobile Fackel

Die im Tool verwendeten Werte für die Pilot- und Hilfsenergie je Fackeleinsatz werden aus typischen Pilotgasverbräuchen und Einsatzdauern hergeleitet. Ein EPA-Faktenblatt zu Fackelanlagen nennt für Industrie- und Prozessfackeln einen durchschnittlichen Pilotgasverbrauch von 70 scf/h je Pilotbrenner (Quelle :https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/installflares.pdf). Dies entspricht bei Umrechnung rund 2,0 Nm³ Erdgas pro Stunde und damit einer thermischen Leistung von ca. 20 kW (bei 10 kWh/m³ Heizwert). Die Leistung ergibt sich aus Volumenstrom multipliziert mit dem Heizwert.

Bei mobilen Einsätzen mit Fackelbetriebszeiten von etwa 0,1 h, 0,25 h oder 0,5 h ergibt sich daraus ein Pilotenergiebedarf von rund 2 kWh, 5 kWh bzw. 10 kWh je Einsatz.

Unabhängige Unternehmensgruppe des DVGW

DBI Gruppe

www.dbi-gruppe.de

QR-Code scannen, um
mehr über uns zu erfahren.

» www.dbi-gruppe.de