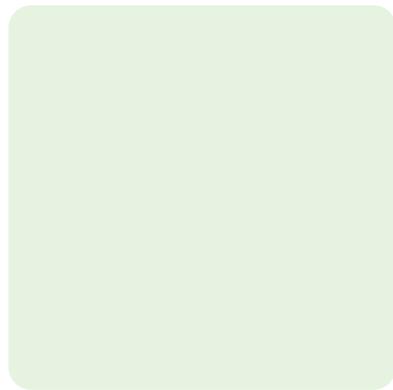
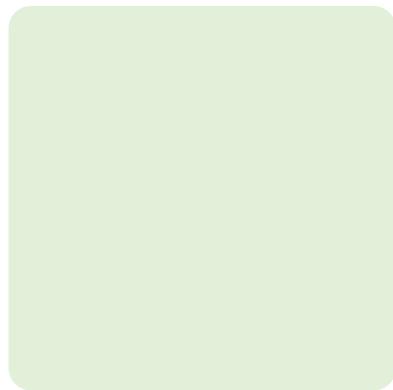
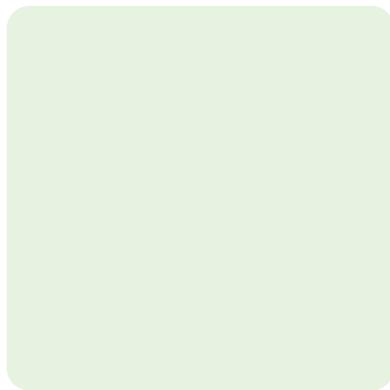


ME PLEX

Methanemissionsreduzierung mit dem PLEXOR-System

Kurzanalyse



Impressum

Kurzanalyse

ME PLEX

Methanemissionsreduzierung mit dem PLEXOR System

Erstellt im Auftrag von

HanseGas GmbH

Axel Rose

Am Koppelberg 15

D-17489 Greifswald

axel.rose@hansegas.com

www.hansegas.com

Wigersma & Sikkema

Piotr Skotnicki

Leigraafseweg 4

NL-6983 BP Doesburg

psk@wigersma-sikkema.com

www.wigersma-sikkema.com

Durchführung

Projektleitung

Charlotte Große

Charlotte.Grosse@dbi-gruppe.de

T +49 341 2457-149

Kontakt

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

Karl-Heine-Straße 109/111

D-04229 Leipzig

www.dbi-gruppe.de

Autoren

DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

Charlotte Große, Melanie Eysser, Jenny
Sammüller

Laufzeit

01.08.2021 bis 31.10.2021

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
Formelzeichen-, Index- und Abkürzungsverzeichnis	6
1 Einleitung	7
2 Grundlagen	8
2.1 Instandhaltung von Gas-Druckregelanlagen: Funktionsprüfung	8
2.2 PLEXOR-Inspektionssystem	9
2.3 Ablauf der Funktionsprüfung für die Messung	10
2.3.1 Traditionelle Funktionsprüfung: Schema „Nadelventil“	10
2.3.2 Funktionsprüfung mit etabliertem PLEXOR-Ablauf: Schema „PLEXOR 2005“	11
2.3.3 Funktionsprüfung mit optimiertem PLEXOR-Ablauf: Schema „PLEXOR 2005+Optimierung“	12
2.4 Messdurchführung	13
3 Theoretische Abschätzung der Methanemissionen	15
4 Messergebnisse und Interpretation	18
4.1 Messdaten	18
4.2 Fehlerdiskussion	21
5 Fazit und Ausblick	22
Literatur	24
Anhang: Berechnung des ausgeblasenen Volumens (Theoretische Betrachtung)	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	PLEXOR-Prüfgerät und Verbindung zur Regelschiene der GDRA	9
Abbildung 2:	ND-Regelschienen für Messdurchführung	14
Abbildung 3:	MD-Regelschienen für Messdurchführung	14
Abbildung 4:	Methanemissionen der Funktionsprüfung nach drei verschiedenen Abläufen	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Geltende maximale Fristen für die Funktionsprüfung nach G 495 [7, S. 25-26]	8
Tabelle 2:	Ablaufschema einer traditionellen Funktionsprüfung (Schema "Nadelventil")	11
Tabelle 3:	Ablaufschema einer Funktionsprüfung mit dem PLEXOR-System (Schema "PLEXOR 2005")	12
Tabelle 4:	Ablaufschema einer Funktionsprüfung mit dem optimierten PLEXOR-System (Schema "PLEXOR 2005+Optimierung")	13
Tabelle 5:	Einstellwerte der Regler und SAV	15
Tabelle 6:	Beispielhafte Emissionsfaktoren (EF) für das Ausblasen von GDR(M)A, pro entleerte Schiene	16
Tabelle 7:	Ansätze zur rechnerischen Ermittlung der Ausblasevolumina der emissionsrelevanten Schritte der FP	17
Tabelle 8:	Theoretisch ermittelte Methanemissionen für die in diesem Projekt betrachtete Anlage in [l CH ₄ (normiert)]	17
Tabelle 9:	Messwerttabelle der Methan-Emissionsmengen in der ND-Anlage in [l (normiert)]	18
Tabelle 10:	Messwerttabelle der Methan-Emissionsmengen in der MD-Anlage in [l (normiert)]	19
Tabelle 11:	Zusammenfassung der Methanemissionen bei der FP nach den drei Ablaufschemata in den Niederdruck und Mitteldruckschienen (Emissionen der FD-Prüfung sind über alle Messwerte der Prüf-Schemata „Nadelventil“ und „PLEXOR 2005“ gemittelt)	20
Tabelle 12:	Vergleich der theoretisch ermittelten und gemessenen Methanemissionen für die in diesem Projekt betrachtete Anlage in [l (normiert) CH ₄]	21

Formelzeichen-, Index- und Abkürzungsverzeichnis

Ø:	Mittelwert
AS:	Arbeitsschiene
BF:	Bewertungsfaktor
BGZ:	Balgengaszähler
CH ₄ :	Methan
FD:	Fließdruck
FP:	Funktionsprüfung
GDRA:	Gas-Druckregelanlage
IH:	Instandhaltung
MD:	Mitteldruck (0,1-1 bar)
ND:	Niederdruck (< 0,1 bar)
l (normiert):	Normliter
OGMP:	Oil and Gas Methane Partnership
p _{so} :	oberer Ansprechdruck SAV
p _{su} :	unterer Ansprechdruck SAV
RS:	Reserveschiene
SAV:	Sicherheitsabsperrentil
SBV:	Sicherheitsabblaseventil
SD:	Schließdruck
W&S:	Wigersma & Sikkema
ZOI:	Zustandsorientierte Instandhaltung

1 Einleitung

Die Umweltfreundlichkeit des Energieträgers (Erd-)Gas wird national, aber auch auf internationaler Ebene von einigen Akteuren immer wieder in Frage gestellt und die seit Jahren zunehmende Klimadebatte bringt eine neue Bedeutung für die Thematik. Allem voran der Green Deal der europäischen Kommission [1], welcher darauf abzielt, die Klimaneutralität der EU bis 2050 zu erreichen, hat die Aufmerksamkeit auf das Thema Methanemissionen stark erhöht.

Darüber hinaus veröffentlichte die Europäische Kommission im Oktober 2020 die EU-Methanstrategie [2]. Ihr Ziel ist es, die Methanemissionen der EU bis 2030 um 35-37 % gegenüber dem Stand von 2005 zu senken. Die Bestimmung und Verifizierung von Methanemissionen soll verbessert werden und ihre Berichterstattung soll verpflichtend sein, auf Basis der „Oil and Gas Methane Partnership“ (OGMP 2.0 Framework) [3]. Zwar werden die Sektoren Abfall und Landwirtschaft miteinbezogen, jedoch wird vor allem im Sektor Energie das Potenzial gesehen, Methanemissionen kosteneffizient zu senken. Erste Gesetzesvorlagen sollen im Dezember 2021 erfolgen.

Die Methanemissionen des Gasverteilnetzes sind mit 0,15 % der in Deutschland verteilten Gasmenge heute schon auf einem sehr niedrigen Niveau [4, S. 27]. Jedoch weist die Gasverteilung die höchsten Methanemissionen in der deutschen Erdgaswertschöpfungskette auf (im Jahr 2017 ca. 85,7 kt [5]). Hauptgründe hierfür sind die große Anzahl an Leitungskilometern und Anlagen, die Heterogenität und die Komplexität des Netzes und die begrenzten Möglichkeiten der präventiven Detektion von Verschleiß. Daher wird die Betrachtung der Methanemissionen für die Verteilnetzbetreiber (VNB) immer wichtiger.

Reduktion von Methanemissionen wird durch die deutschen VNB bereits seit vielen Jahren betrieben. Früher stand vor allem der Sicherheitsaspekt im Fokus, heutzutage gewinnen Umweltschutzgedanken an Bedeutung. Im Projekt ME-Red DSO [6] wurden neben zahlreichen Möglichkeiten Methanemissionen aus Gasleitungen zu senken, auch einige Maßnahmen vorgestellt, mit denen Methanemissionen an Anlagen und Messtellen im Gasverteilnetz eingespart werden können. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung des PLEXOR-Inspektionssystems von Wigersma & Sikkema (W&S) für die Durchführung von Funktionsprüfungen an Gas-Druckregelanlagen.

In diesem Projekt soll die Einsparung von Methanemissionen bei Verwendung des PLEXOR-Inspektionssystems untersucht werden. Dazu werden die Emissionen während der Funktionsprüfung an einer Anlage der HanseGas gemessen. Die Messungen der Emissionen erfolgen für drei verschiedene Vorgehensweisen bei der Funktionsprüfung.

Ziel dieses Projekts ist es, die Methanemissionen einer Funktionsprüfung an einer Anlage mit und ohne Einsatz des PLEXOR-Systems, sowie mit einer optimierten Vorgehensweise der Funktionsprüfung zu bestimmen. Dabei soll ein theoretischer sowie ein messtechnischer Nachweis erfolgen. Im Fall der Funktionsprüfung mit PLEXOR erfolgt nur ein messtechnischer Nachweis.

Das PLEXOR-Inspektionssystem wird bei HanseGas schon seit 2001 für die zustandsorientierte Instandhaltung (ZOI) eingesetzt. Die Ergebnisse dieses Projekts sollen genutzt werden, um weitere Netzbetreiber über Möglichkeiten der Reduzierung von Wartungsemissionen an Gas-Druckregelanlagen zu informieren und somit vorhandenes Wissen und Entwicklungen öffentlich zugänglich zur Verfügung zu stellen.

2 Grundlagen

2.1 Instandhaltung von Gas-Druckregelanlagen: Funktionsprüfung

Die Vorgaben zur Funktionsprüfung von Gas-Druckregelanlagen (GDRA) sind im DVGW-Arbeitsblatt G 495 „Gasanlagen – Betrieb und Instandhaltung“ beschrieben [7, S. 22f]. Diese dient als Grundlage für den Betrieb, sowie die Instandhaltung (IH) von Gasanlagen. Die Funktionsprüfung gehört zur Überwachung der Anlage, welche ein Teil der Instandhaltung ist. Die Funktionsprüfung verfolgt den Zweck, die Funktionsfähigkeit sowie vorhandene Abweichungen der Gasanlage oder ihrer Bauelemente und -gruppen festzustellen. Dies erfordert funktionale Eingriffe in die Anlage, Bauelemente oder -gruppen [7, S. 14f].

In der G 495 sind in Tabelle 3 [7, S. 35ff] die Arbeiten der IH-Maßnahmen aufgeführt. Die Methanemittierenden Schritte bei der Funktionsprüfung sind die Prüfungen der Ansprechdrücke und dichtem Abschluss von SAV und SBV, sowie von Fließdruck, Schließdruck und dichtem Abschluss der Gasregelgeräte.

Die Funktionsprüfung von Gasanlagen erfolgt in Deutschland entweder als vorausbestimmte Instandhaltung nach statischen, zeitorientierten Zyklen, oder als zustandsorientierte Instandhaltung (ZOI), in der die maximalen Instandhaltungsintervalle abhängig vom Zustand der Bauelemente verlängert werden können. Die zustandsorientierte Funktionsprüfung setzt die Implementierung und laufende Pflege eines Bewertungssystems des Anlagenbestandes eines Gasnetzbetreibers voraus.

Die geltenden maximalen Fristen der Funktionsprüfung nach vorausbestimmter IH sowie ZOI sind in Tabelle 1 dargelegt. Die Ermittlung des Bewertungsfaktors (BF) ist in der G 495 [7] in Anhang C informativ beschrieben. Der BF kann maximal 2 betragen, sodass die Intervalle der Funktionsprüfung maximal doppelt so lang sein können, wie in der vorausbestimmten IH. Die Verlängerung der Intervalle zwischen Funktionsprüfungen stellt auch eine Möglichkeit der Senkung von Methanemissionen durch Instandhaltungsmaßnahme an GDRA dar.

Tabelle 1: Geltende maximale Fristen für die Funktionsprüfung nach G 495 [7, S. 25-26]

Maximaler Eingangsdruck [bar]	Maximaler Normvolumenstrom [m³/h]	Fristen für die Funktionsprüfung (vorausbestimmte IH)	Fristen für die Funktionsprüfung (zustandsorientierte IH)
Bis 0,1	-	Nach Bedarf	Nach Bedarf
> 0,1 bis 1	≤ 200	12-jährlich	12-jährlich x BF
	> 200	4-jährlich	4-jährlich x BF
> 1 bis 5	≤ 200	6-jährlich	6-jährlich x BF
	> 200	2-jährlich	2-jährlich x BF
> 5 bis 16		1-jährlich	1-jährlich x BF
> 16 bis 100		1/2-jährlich	1/2-jährlich x BF

2.2 PLEXOR-Inspektionssystem

Das Inspektionssystem „PLEXOR“ der niederländischen Firma Wigersma & Sikkema (W&S) dient der Prüfung von Komponenten in Gas-druckregel- und Messanlagen. Das portable Prüfgerät besteht im Wesentlichen aus zwei präzisen elektronischen Manometern und einer externen Software, welche den Ablauf der Funktionsprüfung automatisiert steuert. Über fest installierte Systemkupplungen in der Anlage wird das Inspektionssystem über Schläuche mit der Anlage verbunden. Neben den einfachen Kupplungen für verschiedene Druckbereiche wurde ein 3-Wege-Anschluss konstruiert, der direkt in der Messleitung des SAV montiert wird. Diese Kupplung ermöglicht die direkte Druckbeaufschlagung des SAV über die Messleitung. Das zeitaufwendige und emissionsintensive Füllen und Entspannen der Regelschienen sind damit nicht erforderlich. Abbildung 1 zeigt die Verbindung des Prüfgeräts über Schläuche mit der Regelschiene der GDRA. Der Druck und das Volumen zur Überprüfung der Ansprechwerte der Sicherheitseinrichtungen (SAV bzw. SBV) wird aus dem Eingangsdruck der Regelschiene entnommen.

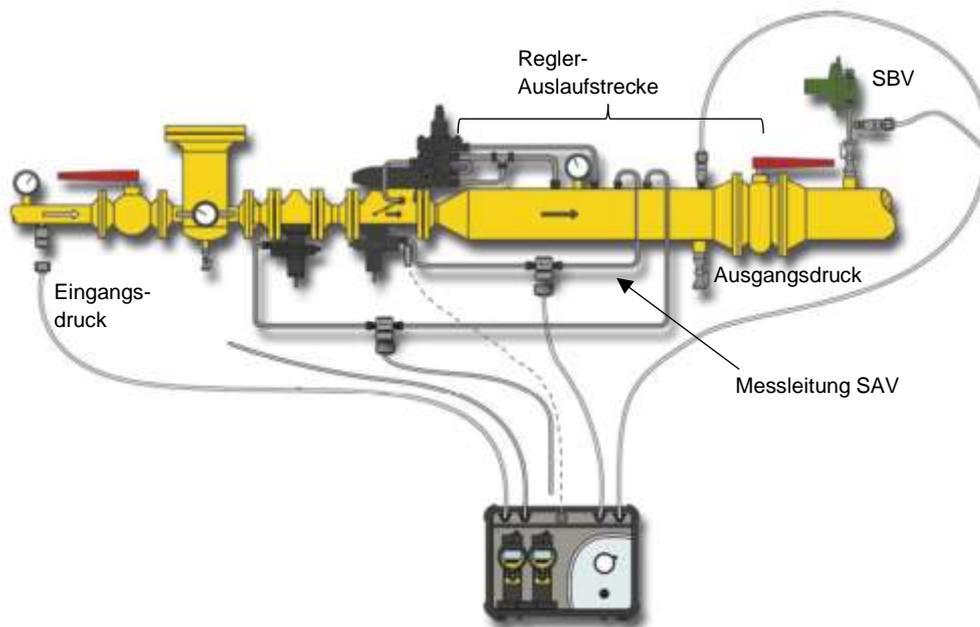


Abbildung 1: PLEXOR-Prüfgerät und Verbindung zur Regelschiene der GDRA

Der Prüfablauf folgt gültigen Normen und Vorschriften. PLEXOR prüft neben den Sollwerten und Schließdrücken auch die innere Dichtheit vom SAV und von Schließelementen und ist in der Lage, Undichtheiten zu quantifizieren. Einmal festgelegt, erfolgen die Prüfschritte immer mit dem gleichen Ablauf und Zeitintervallen. Dies ermöglicht es, bedienerunabhängige Messdaten zu gewinnen, die dann im Vergleich mit Messdaten früherer Funktionsprüfungen zur Analyse des Zustands der Bauteile herangezogen werden können.

Das PN16 PLEXOR-Inspektionssystem ist standardmäßig einsetzbar für Anlagen mit bis zu 16 bar Eingangsdruck. Mit einem vorgeschalteten externen Speisedruckregler EVDR 16 ist der Einsatz bei einem Eingangsdruck bis 100 bar möglich. Der maximal mögliche Ausgangsfließdruck beträgt ca. 13 bar. Es gibt auch eine PN100 Version des PLEXOR- Inspektionssystems, dieses ist ohne vorgeschalteten externen Speisedruckregler EVDR 16 einsetzbar bis 100 bar Eingangsdruck. In diesem Projekt fand die PN16 Version des PLEXOR- Inspektionssystem Anwendung.

Mit dem Einsatz des PLEXOR-Systems erfolgt eine Reduktion von Methanemissionen, da durch den automatisierten Ablauf nur die nötigsten Methanemissionen anfallen und keine bedienerabhängigen Emissionen auftreten. Auch sind die Ausblasevolumina geringer: Da der Vordruck direkt auf die Messleitung des SAV gegeben wird, müssen kleinere Volumina entspannt werden. Eine standardisierte Auswertung der

Funktionsprüfungen über mehrere Zyklen ist möglich, dadurch wird auch ZOI ermöglicht.

2.3 Ablauf der Funktionsprüfung für die Messung

Für die Messung der Methanemissionen der Funktionsprüfung, wurde die Funktionsprüfung am Messtag in drei unterschiedlichen Abläufen durchgeführt.

- 1.) Traditionelle Funktionsprüfung mit Nadelventil, ohne Einsatz des PLEXOR-Systems („Nadelventil“)
- 2.) Funktionsprüfung mit PLEXOR-System, mit Standard-Ablaufschema („PLEXOR 2005“)
- 3.) Funktionsprüfung mit PLEXOR-System, mit optimierten Ablaufschema („PLEXOR 2005+Optimierung“)

Nachfolgend werden die durchgeführten Schritte in jedem Ablaufschema aufgezählt und die Schritte identifiziert, welche Methanemission verursachen.

Es erfolgt keine Überprüfung des Ansprechdrucks des SBV, da dieses in der Testanlage nicht mehr verbaut ist. HanseGas hat fast alle Leckgas-SBV in seinem Netz ausgebaut, unter anderem um unnötige Methanemissionen durch das Abblasen von SBVs sowie kontinuierliche Emissionen durch Undichtheiten zu vermeiden.

2.3.1 Traditionelle Funktionsprüfung: Schema „Nadelventil“

Der Ablauf „Nadelventil“ entspricht dem Ablaufschema, welches bei HanseGas vor dem flächendeckenden Einsatz des PLEXOR-Systems angewendet wurde. Es entspricht (leicht modifiziert) dem Ablauf der Funktionsprüfung bei vielen deutschen Netzbetreibern. In Tabelle 2 ist der Ablauf beschrieben sowie die Schritte identifiziert, welche Methanemissionen verursachen.

Tabelle 2: Ablaufschema einer traditionellen Funktionsprüfung (Schema "Nadelventil")

Schritt Nr.	Beschreibung	Emissionen
1.	Schließen der Absperreinrichtung hinter der Regler-Auslaufstrecke	keine
2.	Prüfung Fließdruck (FD): Öffnen der Entspannungsleitung in der Regler-Auslaufstrecke für 1 min → Fließdruck im Regler stellt sich ein	Freie Ausströmung mit FD
3.	Prüfung Schließdruck (SD): Schließen der Entspannungsleitung Überprüfung des Schließdrucks	keine
4.	Öffnen und Schließen der Entspannungsleitung → 2. Prüfung des SD (Schritt 3)	Aufgrund kurzer Entspannung von SD auf FD
5.	Prüfung der inneren Dichtheit des Reglers: Prüfung auf Druckanstieg bei SD	keine
6./7./8.	Prüfung oberer Ansprechdruck (p_{so}) des SAV: Weitere Druckerhöhung → Auslösen SAV und Prüfung p_{so} → Entspannung auf Wiedereinrastdruck SAV → 2 Wiederholungen	3 x Entspannung des Volumens der Regler-Auslaufstrecke von p_{so} auf SD
9./10.	Prüfung unterer Ansprechdruck (p_{su}) des SAV: Entspannung der Regler-Auslaufstrecke bis untere Auslösung SAV und Prüfung p_{su} → Wiederbefüllung auf Wiedereinrastdruck SAV → 1 Wiederholung	2 x Entspannung des Volumens der Regler-Auslaufstrecke von SD auf p_{su}
11.	Prüfung dichter Abschluss des SAV: wird in Schritt 10 mit durchgeführt	in Schritt 10 mit enthalten

2.3.2 Funktionsprüfung mit etabliertem PLEXOR-Ablauf: Schema „PLEXOR 2005“

Der Ablauf „PLEXOR 2005“ entspricht dem Ablaufschema, welches bei HanseGas in Anlehnung an die traditionelle FP seit ca. 2005 angewendet wird. Es entspricht (leicht modifiziert) dem Ablauf der Funktionsprüfung bei vielen deutschen Netzbetreibern, die bereits das PLEXOR-Inspektionssystem für die FP nutzen. In Tabelle 3 ist der Ablauf beschrieben sowie die Schritte identifiziert, welche Methanemissionen verursachen. Die Schritte 1-5 entsprechen dem Schema „Nadelventil“. Bei der Prüfung des oberen Ansprechdrucks des SAV (Schritte 6-8) muss für das Wiedereinrasten des SAV kein Druckausgleich durch Entspannung von Erdgas in die Atmosphäre in der Regler-Auslaufstrecke erfolgen, da der Auslösedruck direkt auf die Messleitung des SAV aufgegeben wurde und in der Regler-Auslaufstrecke SD vorliegt. Sobald das SAV ausgelöst ist, wird der SD wiederhergestellt und das SAV kann wieder ohne Druckausgleich eingerastet werden. Gleiches gilt für die Prüfung des unteren SAV-Ansprechdrucks (Schritte 9-10). Dabei erfolgt die Druckreduzierung in der SAV-Messleitung über den PLEXOR-Entlüftungsschlauch. Für den Druckausgleich zum Wiedereinrasten des SAV entstehen keine Methanemissionen in die Atmosphäre. In Tabelle 3 wird in Spalte „Emissionen“ nicht unterschieden zwischen den Emissionen die bei der eigentlichen Prüfung der Einstellwerte entstehen und den Emissionen die während des Druckausgleichs zum Wiedereinrasten des SAV abgeblasen werden.

Am Ende einer Funktionsprüfung mit dem PLEXOR-System muss der PLEXOR-Inspektionsskoffler aus Sicherheitsgründen in die Atmosphäre entlüftet werden. Dies erfolgt bei Abschaltung des Inspektionssystems

am Ende des Messtags.

Tabelle 3: Ablaufschema einer Funktionsprüfung mit dem PLEXOR-System (Schema "PLEXOR 2005")

Hinweis: **Fett** gedruckt sind die Schritte, in denen im Vergleich zum Schema „Nadelventil“ Emissionen eingespart werden

Schritt Nr.	Beschreibung	Emissionen
1.	Schließen der Absperrereinrichtung hinter der Regler-Auslaufstrecke	keine
2.	Prüfung Fließdruck (FD): Öffnen der Entspannungsleitung in der Regler-Auslaufstrecke für 1 min → Fließdruck im Regler stellt sich ein	Freie Ausströmung mit FD
3.	Prüfung Schließdruck (SD): Schließen der Entspannungsleitung Überprüfung des Schließdrucks	keine
4.	Öffnen und Schließen der Entspannungsleitung → 2. Prüfung des SD (Schritt 3)	Aufgrund kurzer Entspannung von SD auf FD
5.	Prüfung der inneren Dichtheit des Reglers: Prüfung auf Druckanstieg bei SD	keine
6./7./8.	Prüfung oberer Ansprechdruck (p_{so}) des SAV: Druckanstieg über Verbindung Vordruck-Messkoffer-Messleitung direkt auf SAV → 2 Wiederholungen	keine
9./10.	Prüfung unterer Ansprechdruck (p_{su}) des SAV: Entspannung der (SAV-)Messleitung bis untere Auslösung SAV und Prüfung p_{su} → 1 Wiederholung	2 x Entspannung des Volumens der Messleitung von FD auf p_{su} (Kleinstmengen)
11.	Prüfung der inneren Dichtheit des SAV: Prüfung auf Druckanstieg in Regler-Auslaufstrecke bei 10% unterhalb des Ausgangsdrucks	Entspannung des Volumens der Regler-Auslaufstrecke von SD auf 0,9xFD

2.3.3 Funktionsprüfung mit optimiertem PLEXOR-Ablauf: Schema „PLEXOR 2005+Optimierung“

Der Ablauf „PLEXOR 2005+Optimierung“ entspricht dem Ablaufschema, welches bei HanseGas im Jahr 2021 entwickelt wurde mit dem Ziel, Methanemissionen noch weiter zu reduzieren. In Tabelle 4 ist der Ablauf beschrieben sowie die Schritte identifiziert, welche Methanemissionen verursachen. Die wesentliche Anpassung erfolgt durch die bauliche Verbindung zwischen Arbeitsschiene und Reserveschiene. Dies ermöglicht für die Überprüfung des FD des Reglers die Entlüftung der Arbeitsschiene in die Reserveschiene, anstatt in die Atmosphäre. Es ist zu erwähnen, dass dieser Prüf Ablauf nur funktioniert, wenn Erdgas ins Netz eingespeist werden kann. Die FP nach diesem Ablauf muss also in einem Zeitraum des Jahres durchgeführt werden, in dem Erdgas ins Netz eingespeist werden kann.

Weiterhin wurde die Prüfzeit des Fließdrucks verkürzt, sodass diese Entspannung nun noch in einem halb so langen Zeitraum Emissionen verursacht. Außerdem erfolgt keine Überprüfung des unteren Ansprechdrucks des SAVs mehr, da durch die flächendeckende Ausrüstung der Hausdruckregler mit einer Gasmangelsicherung kein unbeobachteter Gasaustritt stattfinden kann. Außerdem hatten nicht alle Gasdruckregler in den Anlagen bauartbedingt eine untere Abschaltung. Daher wird flächendeckend auf diese Prüfung verzichtet.

Tabelle 4: Ablaufschema einer Funktionsprüfung mit dem optimierten PLEXOR-System (Schema "PLEXOR 2005+Optimierung")

Hinweis: **Fett** gedruckt sind die Schritte, in denen im Vergleich zum Schema „PLEXOR 2005“ Emissionen eingespart werden

Schritt Nr.	Beschreibung	Emissionen
1.	Schließen der Absperreinrichtung hinter der Regler-Auslaufstrecke	keine
2.	Prüfung Fließdruck (FD): Öffnen der Entspannungsleitung in der Regler-Auslaufstrecke für 30 s → Fließdruck im Regler stellt sich ein Arbeitschiene: Entspannung in Reserveschiene Reserveschiene: Entspannung in Atmosphäre	Reserveschiene: Freie Ausströmung mit FD, 30 s statt 60 s Arbeitschiene: keine
3.	Prüfung Schließdruck (SD): Schließen der Entspannungsleitung Überprüfung des Schließdrucks	keine
4.	Öffnen und Schließen der Entspannungsleitung → 2. Prüfung des SD (Schritt 3)	Aufgrund kurzer Entspannung von SD auf FD
5.	Prüfung der inneren Dichtheit des Reglers: Prüfung auf Druckanstieg bei SD	keine
6./7./8.	Prüfung oberer Ansprechdruck (p_{so}) des SAV: Druckanstieg über Verbindung Vordruck-Messkoffer-Messleitung direkt auf SAV → 2 Wiederholungen	keine
9./10.	Entfällt: Prüfung unterer Ansprechdruck (p_{su}) des SAV	keine
11.	Prüfung der inneren Dichtheit des SAV: Prüfung auf Druckanstieg in Regler-Auslaufstrecke bei 10% unterhalb des Ausgangsdrucks	Reserveschiene: Entspannung des Volumens der Regler-Auslaufstrecke von SD auf 0,9x FD Arbeitschiene: keine

2.4 Messdurchführung

Die Messung fand am 28.09.2021 von 8:30 Uhr bis 16:00 Uhr an einer Gas-Druckregelanlage in Bad Sülze, Mecklenburg-Vorpommern statt. Die DP16 bar-Anlage besteht aus zwei Schienen (Arbeits- und Reserveschiene) DN50/150, die ins ND-Netz einspeisen, sowie zwei Schienen mit MD-Ausgang. Die Fotos in Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen den Aufbau der Schienen, an denen die Messungen durchgeführt wurden.



Abbildung 2: ND-Regelschienen für Messdurchführung



Abbildung 3: MD-Regelschienen für Messdurchführung

Der Gasdruckregler und das SAV waren zum Zeitpunkt der Messung auf folgende Werte eingestellt (Tabelle 5):

Tabelle 5: Einstellwerte der Regler und SAV

		ND – AS	ND – RS	MD – AS	MD – RS
SAV,o	p_{so} [mbar]	90	110	900	1000
Regler	p_a [mbar]	50	40	700	600
SAV,u	p_{su} [mbar]	10	10	20	20

Die Messung der Emissionen erfolgte mit einem Balgengaszähler (BGZ) vom Typ BK-G4 M des Herstellers Elster. Es wurde je ein Balgengaszähler in die Entspannungsleitung der Regler-Auslaufstrecke sowie in den Entlüftungsschlauch des PLEXOR-Prüfgeräts installiert. Der Messbereich des Zählers beträgt: 0,04-6 m³/h (0,7-100 l/min) und die Ablesegenauigkeit 0,2 l. Bei einigen Teilschritten liegen technisch zwar Emissionen vor, jedoch wurden diese aufgrund des geringen Volumenstroms nicht vom Gaszähler registriert. Vereinfacht wurde für diese Messwerte die Ablesegenauigkeit als Bestimmungsgrenze eingesetzt und konservativ in voller Höhe in die Summenbildung mit einbezogen.

Um die Genauigkeit der Messwerte abschätzen zu können, wurden die Messungen als Doppelbestimmung durchgeführt, d.h. für jede Prüfung wurden jeweils zwei Werte gewonnen, und der Mittelwert berechnet.

Die gemessenen Volumina im Betriebszustand wurden auf Normbedingungen (0 °C, 1,013 mbar) umgerechnet. Für die Bestimmung der Methanemissionen aus den Erdgasemissionen wurde ein Methangehalt von 93 Vol.-% angesetzt.

Die Entlüftung des PLEXOR-Inspektionskoffers (siehe Abschnitt 2.3.2) wurde am Ende des Messtages durchgeführt und die Emissionen wie beschrieben gemessen. Am Messtag wurde der Messkoffer für zwölf FP mit dem PLEXOR-System nur einmal entlüftet. Da jedoch angenommen wird, dass die Funktionsprüfung in der Praxis im Rahmen der Instandhaltung nur jeweils einmal in der Reserve- und Arbeitsschiene durchgeführt wird, werden die Emissionen der PLEXOR-Entlüftung auf jede vollständige FP für AS und RS aufgeschlagen.

3 Theoretische Abschätzung der Methanemissionen

Begleitend zur Messung sollen die Emissionen bei der Funktionsprüfung der Gas-Druckregelanlage theoretisch abgeschätzt werden, mit dem Ziel, verschiedene Berechnungsansätze auf ihre Anwendbarkeit zu prüfen sowie die ermittelten Messwerte zu verifizieren.

Dafür werden zum einen die Emissionen anhand von im Projekt MEEM [8] beispielhaft ermittelten Emissionsfaktoren (EF) ermittelt. Die im Jahr 2018 im Projekt berechneten EF wurden im Jahr 2020 in einem bisher unveröffentlichten Projekt nach der gleichen Berechnungsmethode für weitere Anlagengrößen erweitert, um weitere Druckstufen und Nenndurchmesser abzubilden. Tabelle 6 zeigt die EF von acht beispielhaften Gas-Druckregelanlagen in Deutschland in verschiedenen Nennweiten und Druckstufen. Die EF wurden pro entleerte Schiene anhand der Rohrinnenvolumina und Überdrücke in den Rohrleitungen exemplarisch berechnet.

Tabelle 6: Beispielhafte Emissionsfaktoren (EF) für das Ausblasen von GDR(M)A, pro entleerte Schiene

Kriterium	Kleine GDR(M)A (Schränk)	Mittlere GDR(M)A	Mittlere GDR(M)A	Große GDR(M)A	Große GDR(M)A mit Vorwärmung	Große GDR(M)A mit Vorwärmung	Große GDR(M)A mit Vorwärmung	Große GDR(M)A mit Vorwärmung	Filterbühne einschl. Filter
Eingangs- druckstufe [bar]	DP2,5	DP4	DP10	DP16	DP25	DP25	DP70	DP70	DP25r
Nennweite Eingang/ Ausgang	DN25/ DN50	DN50/ DN100	DN80/ DN150	DN80/ DN150	DN80/ DN150	DN250/ DN300	DN200/ DN250	DN250/ DN300	DN250
EF für Ausblasen einer Schiene [Nm ³ Erdgas/ Vorgang]	0,004	0,075	0,242	0,318	1,22	15,6	18,8	46,6	33,1

Bei der zu untersuchenden Anlage handelt es sich um eine GDRA der Druckstufe DP16 bar mit Eingangsnenndurchmesser DN50. Die ND-Schienen sind im Ausgang mit DN150 dimensioniert, die MD-Schienen mit DN100.

Für die ND-Schienen wird der EF für „Mittlere GDR(M)A“ mit Nennweiten DN80/150 verwendet, da es sich zwar formal um eine DP16 bar-Anlage handelt, der Eingangsdruck jedoch nur 7 bar beträgt. Für das Ausblasen der beiden ND-Schienen berechnen sich somit Methanemissionen in Höhe von 450 l (normiert). Die MD-Schienen werden als „Große GDR(M)A“ DP16 bar kategorisiert. Demnach ergeben sich für beide Schienen Emissionen von 591 l (normiert).

Eine weitere Möglichkeit zur rechnerischen Abschätzung der Emissionen besteht in der individuellen Betrachtung der ausgeblasenen Volumina für die betrachtete Anlage. Dafür werden die in Tabelle 7 aufgelisteten Ansätze für die in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Schritte der FP verwendet. Für die detaillierte Ermittlung sowie die verwendeten Formeln und Eingangsdaten sei auf den Anhang verwiesen.

Tabelle 7: Ansätze zur rechnerischen Ermittlung der Ausblasevolumina der emissionsrelevanten Schritte der FP

Schritt Nr.	Beschreibung	Rechnerischer Ansatz zur Abschätzung der Emissionen
1.	Schließen der Absperreinrichtung	keine
2.	Prüfung FD	Freie Ausströmung mit FD, über Blockkugelhahn (BKH) 1/3 geöffnet
3.	Prüfung SD	keine
4.	2. Prüfung des SD (Schritt 3)	Wird vernachlässigt
5.	Prüfung der inneren Dichtigkeit des Reglers	keine
6./7./8.	Prüfung oberer Ansprechdruck (p_{so}) des SAV	3 x Entspannung des inneren Rohrleitungsvolumens von p_{so} auf SD
9./10.	Prüfung unterer Ansprechdruck (p_{su}) des SAV	2 x Entspannung des inneren Rohrleitungsvolumens von SD auf p_{su}
11.	Prüfung der inneren Dichtigkeit des SAV	Enthalten in Schritt 10

Für die Funktionsprüfung mit dem Schema „Nadelventil“ berechnen sich mit den genannten Ansätzen Methanemissionen von 444 l (normiert) für die ND-Schienen, sowie 860 l (normiert) für die MD-Schienen. Die theoretisch ermittelten Emissionen sind in Tabelle 8 gegenübergestellt. Diese Werte werden in Kapitel 4 mit den Messwerten verglichen und bewertet.

Tabelle 8: Theoretisch ermittelte Methanemissionen für die in diesem Projekt betrachtete Anlage in [l CH₄ (normiert)]

	Emissionsfaktoren (MEEM, DBI [8])	Rechnerische Ermittlung der Ausblasevolumina
ND RS+AS	450	444
MD RS+AS	591	860

4 Messergebnisse und Interpretation

4.1 Messdaten

Tabelle 9 und Tabelle 10 stellen die Ergebnisse der Methanemissionen im Nieder- und Mitteldruckbereich der Anlage dar.

Die Emissionen bei der Entlüftung des PLEXOR-Inspektionssystems betragen 4 l im Betriebszustand. Da der Druck nicht bekannt ist, wurde ein mittlerer Überdruck von 500 mbar für die Umrechnung des entlüfteten Volumens auf Normbedingungen angenommen. Die Methanemissionen im Normzustand betragen somit ca. 5 l pro Entlüftung und werden, wie in Abschnitt 2.4 beschrieben, auf eine vollständige Funktionsprüfung (RS und AS) aufsummiert.

Tabelle 9: Messwerttabelle der Methan-Emissionsmengen in der ND-Anlage in [l (normiert)]

ND, Reserveschiene									
Schritt	Nadelventil			PLEXOR 2005			PLEXOR 2005+Optimierung		
	1	2	Ø	1	2	Ø	1	2	Ø
2 FD	23,7	21,8	22,8	58,2	40,0	49,1	3,6	4,6	4,1
4 SD	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5	0,2	0,3
6 SAV,o	1,0	1,0	1,0	-	-	0	-	-	0
7 SAV,o	1,0	1,0	1,0	-	-	0	-	-	0
8 SAV,o	1,0	1,0	1,0	-	-	0	-	-	0
9 SAV,u	6,4	5,5	5,9	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-	0
10 SAV,u	4,6	5,5	5,0	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-	0
11 Δp SAV	-	-	-	1,8	0,9	1,4	1,4	1,6	1,5
Summe	38,4	36,6	37,5	61,4	42,3	51,8	5,5	6,4	5,9
ND, Arbeitsschiene									
Schritt	Nadelventil			PLEXOR 2005			PLEXOR 2005+Optimierung		
	1	2	Ø	1	2	Ø	1	2	Ø
2 FD	54,1	64,2	59,1	53,2	72,4	62,8	-	-	-
4 SD	0,9	0,9	0,9	1,8	1,8	1,8	-	-	-
6 SAV,o	1,0	1,0	1,0	-	-	-	-	-	-
7 SAV,o	1,0	< 0,2	0,6	-	-	-	-	-	-
8 SAV,o	< 0,2	1,0	0,6	-	-	-	-	-	-
9 SAV,u	11,9	11,0	11,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-	-
10 SAV,u	11,0	11,9	11,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-	-
11 Δp SAV	-	-	-	1,8	0,9	1,4	-	-	-
Summe	80,0	90,1	85,1	57,3	75,6	66,4	0	0	0
Entlüftung PLEXOR-System			-			5			5
Summe FP			122,6			123,2			10,9

Tabelle 10: Messwerttabelle der Methan-Emissionsmengen in der MD-Anlage in [l (normiert)]

MD, Reserveschiene									
	Nadelventil			PLEXOR 2005			PLEXOR 2005+Optimierung		
Schritt	1	2	Ø	1	2	Ø	1	2	Ø
2 FD	83,2	76,3	79,8	12,5	101,3	56,9	31,9	29,1	30,5
4 SD	1,4	2,9	2,2	1,4	4,3	2,9	2,9	1,4	2,2
6 SAV,o	8,6	5,2	6,9	-	-	-	-	-	-
7 SAV,o	6,9	6,9	6,9	-	-	-	-	-	-
8 SAV,o	6,9	6,9	6,9	-	-	-	-	-	-
9 SAV,u	15,3	16,6	16,0	1,4	1,4	1,4	-	-	-
10 SAV,u	15,3	13,9	14,6	1,4	1,4	1,4	-	-	-
11 Δp SAV	-	-	-	5,5	1,4	3,5	5,5	4,2	4,9
Summe	137,7	128,7	133,2	22,2	109,8	66,0	40,3	34,7	37,5
MD, Arbeitsschiene									
	Nadelventil			PLEXOR 2005			PLEXOR 2005+Optimierung		
Schritt	1	2	Ø	1	2	Ø	1	2	Ø
2 FD	67,7	28,0	47,9	179,7	232,7	206,2	-	-	-
4 SD	1,5	1,5	1,5	4,6	3,1	3,8	-	-	-
6 SAV,o	4,9	3,3	4,1	-	-	-	-	-	-
7 SAV,o	3,3	1,6	2,5	-	-	-	-	-	-
8 SAV,o	4,9	3,3	4,1	-	-	-	-	-	-
9 SAV,u	17,7	19,1	18,4	1,5	1,5	1,5	-	-	-
10 SAV,u	19,1	19,1	19,1	1,5	1,5	1,5	-	-	-
11 Δp SAV				2,9	5,9	4,4	-	-	-
Summe	119,3	76,0	97,6	190,2	244,6	217,4	0	0	0
Entlüftung PLEXOR-System			-			5			5
Summe FP			230,8			288,4			42,5

Bei der Messung des FD (Schritt 2) wird die Entlüftungsöffnung manuell ein wenig geöffnet. Wie weit und auch die exakte Dauer ist stark vom Bediener abhängig. Die Messwerte zeigen, dass, obwohl dieselben Handgriffe in alle drei Schemata vollzogen werden, die Messwerte der Ausblaseemissionen stark voneinander abweichen. Für einen besseren Vergleich der drei Schemata wird daher in der weiteren Auswertung mit den Mittelwerten aus den Emissionen gerechnet, die bei der Prüfung des FD im Schema „Nadelventil“ sowie „PLEXOR 2005“ entstehen. Im Schema „PLEXOR 2005+Optimierung“ wurde die Prüfzeit verkürzt (siehe Abschnitt 2.3.3), daher wird der Messwert in diesem Schema nicht mit in die Mittelwertbildung eingerechnet.

Tabelle 11 zeigt die über Reserve- und Arbeitsschiene addierten Emissionen der FP nach den drei Ablaufschemata. Dabei wurden die Mittelwerte der Messwerte bei der Prüfung des FD für die Schemata „Nadelventil“ und „PLEXOR 2005“ verwendet, um eine bessere Vergleichbarkeit zu bieten.

Tabelle 11: Zusammenfassung der Methanemissionen bei der FP nach den drei Ablaufschemata in den Niederdruck und Mitteldruckschienen (Emissionen der FD-Prüfung sind über alle Messwerte der Prüf-Schemata „Nadelventil“ und „PLEXOR 2005“ gemittelt)

	Niederdruck			Mitteldruck		
	Nadelventil	PLEXOR 2005	PLEXOR 2005 + Optimierung	Nadelventil	PLEXOR 2005	PLEXOR 2005 + Optimierung
FD	96,9	96,9	4,1	195,4	195,4	30,5
SAV,o	5,0	0	0	31,4	0	0
SAV,u	33,8	0,8	0	68,1	5,7	0
Rest	1,8	10,5	6,8	3,7	19,6	12,0
Gesamt	137,6	108,2	10,9	298,6	220,7	42,5
Reduzierung ggü. Schema "Nadelventil"		21%	92%		26%	86%

Abbildung 4 veranschaulicht die Ergebnisse grafisch. Die Methanemissionen der Funktionsprüfung im MD sind, wie zu vermuten war, höher als im ND. Die Methanemissionen im Mitteldruckbereich waren ca. doppelt so hoch wie im Niederdruckbereich. Die Überprüfung des Fließdrucks war in den Schemata „Nadelventil“ und „PLEXOR 2005“ für den Großteil der Emissionen verantwortlich (zwischen 65 % und 90 %). Das optimierte Prüfschema „PLEXOR 2005+Optimierung“ weist in beiden Druckstufen die mit Abstand niedrigsten Methanemissionen auf (rund 11 l (normiert) im ND und 43 l (normiert) im MD).

Der Einsatz des PLEXOR-Inspektionssystems im Schema „PLEXOR 2005“ resultiert in 21 % (im ND) bzw. 26 % (MD) weniger Methanemissionen gegenüber der traditionellen Vorgehensweise im Schema „Nadelventil“. Für den angepassten Prüfablauf im Schema „PLEXOR 2005+Optimierung“ wurde eine Emissionsminderung von 92 % im ND bzw. 89 % im MD ermittelt.

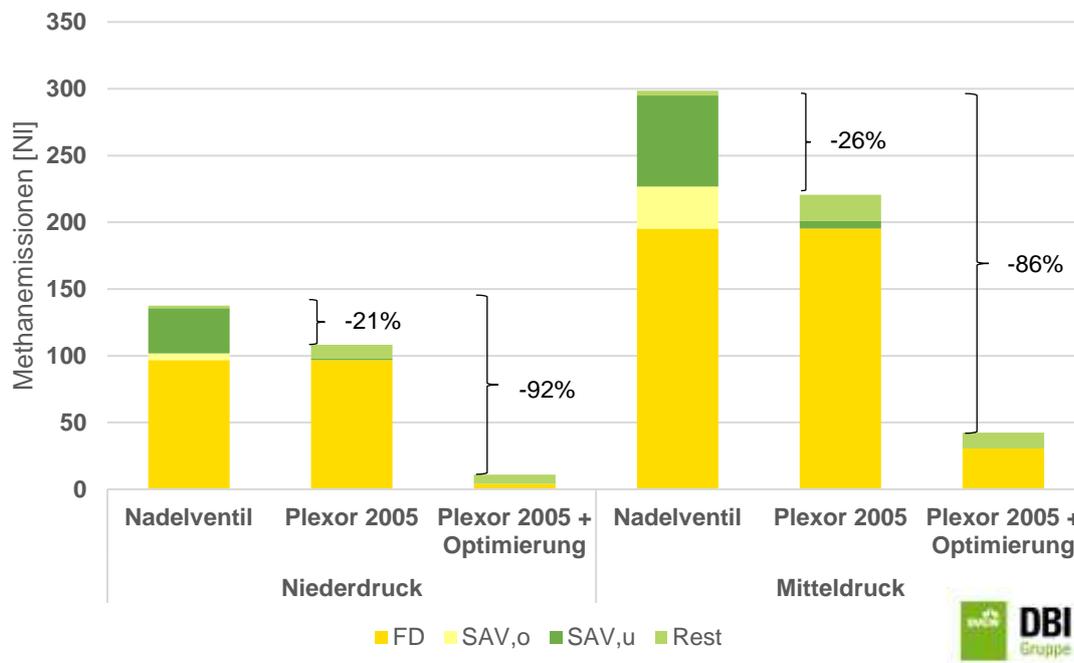


Abbildung 4: Methanemissionen der Funktionsprüfung nach drei verschiedenen Abläufen

4.2 Fehlerdiskussion

Die Messung der Ausblasevolumina mit einem Balgengaszähler ist ein einfaches und kostengünstiges Verfahren, um derartige Emissionen zu messen. Es hat jedoch Grenzen, die für die Bewertung der Messwerte hinsichtlich ihrer Genauigkeit diskutiert werden müssen. Wie alle Gasvolumenmessgeräte misst der BGZ die Volumina im Betriebszustand. Um Vergleichbarkeit von Messwerten untereinander herstellen zu können, muss eine Umrechnung auf einen festgelegten Gaszustand erfolgen (hier auf Normbedingungen). Den größten Einfluss hat bei dieser Messung darauf der Druck, mit dem das Gas ausströmt. Dieser ist jedoch nicht über die gesamte Ausströmdauer gleich groß, sondern nimmt über die Zeit ab. Besonders bei höheren Überdrücken kann der relative Fehler dadurch 100 % und mehr betragen. Für weitere Messvorhaben dieser Art wäre denkbar, eine Drosselung vor dem Zähler zu installieren, sodass das Gas mit reduziertem Druck und einem konstanten Volumenstrom durch den Zähler strömt. Eine Alternative zur Verwendung eines BGZ bietet für kleine Ausblasevolumina die Erfassung in Gasbeuteln, welche im Nachgang zur Funktionsprüfung an einem Gaszähler mit Hilfe einer Pumpe oder anhand geometrischer Bestimmung ausgelitert werden. Bei der Bewertung der Messergebnisse ist ebenfalls zu bedenken, dass BGZ grundsätzlich nur bis 100 mbar kalibrierfähig zugelassen sind (druckfest bis 500 mbar). Weiterhin ist die Erfassung der austretenden Volumenströme als Massenströme in einem Massenflussmessgerät/-regler (MFC) eine kostenintensive, aber genauere Alternative.

Die Genauigkeit der Messwerte wird mindestens ebenso stark von der Vorgehensweise bei den Schalthandlungen der FP beeinflusst. So sind die gemessenen Ausblasevolumina bei Prüfung des Fließdrucks und Schließdrucks stark abhängig vom Öffnungswinkel der Blockkugelhähne für die Entspannung sowie der durchführenden Person. Dies wird ersichtlich bei der starken Schwankung der Doppelbestimmungen untereinander (stellenweise > 100 %), aber auch der Ausblaseemissionen bei der Bestimmung des FD und SD über alle drei Prüfschemata hinweg (Abweichung ebenfalls teilweise > 100 %). Zwar strömt im Schema PLEXOR 2005+Optimierung nur noch halb so lange Gas aus, ansonsten sind die Schalthandlungen aber vergleichbar in allen Schemata.

Auch im Vergleich mit der theoretischen Ermittlung der Ausblasevolumina anhand der Rohrleitungsgeometrien (die ihrerseits ebenso mit Unsicherheiten und Abschätzungen verbunden ist), lässt den Schluss zu, dass ein Messfehler von 100 % angenommen werden kann und nicht zu konservativ abgeschätzt ist.

Tabelle 12: Vergleich der theoretisch ermittelten und gemessenen Methanemissionen für die in diesem Projekt betrachtete Anlage in [l (normiert) CH₄]

	Theoretische Ermittlung		Messtechnische Ermittlung
	Emissionsfaktoren (MEEM, DBI [8])	Rechnerische Ermittlung der Ausblasevolumina	Prüfschema „Nadelventil“
ND RS+AS	450	444	138
MD RS+AS	591	860	299

5 Fazit und Ausblick

Das Bewusstsein für die Relevanz von Methanemissionen unter umweltschutztechnischen Gesichtspunkten steigt bei immer mehr Netzbetreibern und Geräteherstellern. HanseGas nimmt hierbei eine Vorreiterrolle ein und ist seit vielen Jahren bestrebt, Maßnahmen zur Senkung seiner betrieblichen Methanemissionen anzuwenden, z.B. durch das Abfackeln der Emissionen bei Leitungsmaßnahmen oder Anwendung der zustandsorientierten Instandhaltung mit verlängerten Prüfintervallen. Auf der Suche nach Möglichkeiten, die Wartungsemissionen an GDRA zu senken, hat HanseGas gemeinsam mit dem Hersteller des PLEXOR-Inspektionssystems einen optimierten Prüfablauf seiner Funktionsprüfung entwickelt (nachfolgend als „PLEXOR 2005+Optimierung“ bezeichnet), der sich u.a. dadurch auszeichnet, dass die Methanemissionen, die aufgrund der für die Prüfung des Fließdrucks notwendigen Entspannung an die Atmosphäre auftreten, aus der Arbeitsschiene in die Reserveschiene entspannt werden.

In diesem Projekt sollte die Methanemissionsreduzierung theoretisch und messtechnisch nachgewiesen werden, indem drei verschiedene Prüfschemata verglichen wurden. Es zeigte sich, dass das Prüfschema „PLEXOR 2005+Optimierung“ die Methanemissionen, die bei der Funktionsprüfung entstehen, erheblich reduziert, ca. 89 - 92 % gegenüber dem traditionellen Ablauf der FP. Die gemessenen Ausblasevolumina die bei der FP mit dem PLEXOR-Inspektionssystem entstehen sind 21 - 26 % geringer als bei der FP nach dem traditionellen Prüfschema ohne PLEXOR-System. Aufgrund der Ungenauigkeit in der Messmethodik sowie unvermeidbaren Abweichungen bei der wiederholten Durchführung der Prüfung durch manuelle Betätigung von Armaturen (vor allem bei der Prüfung des Fließdrucks) können die ermittelten Messergebnisse nur der groben qualitativen Einordnung dienen. Für die Belastbarkeit der Ergebnisse wurde jeder Messwert als Doppelbestimmung gewonnen, sowie die Ergebnisse einer Plausibilitätsprüfung unter Zuhilfenahme theoretisch ermittelter Werte unterzogen. Eine genauere Untersuchung mit einem weiteren Messverfahren könnte weiteren Aufschluss über den Sachverhalt bieten, sowie die Ergebnisse quantitativ bestätigen.

Das Projekt bietet überdies einen Vergleich von teilweise öffentlich verfügbaren theoretischen Werten, bzw. nach gängigen Ansätzen berechneten Werten mit realen Messwerten an. Es zeigt sich, dass die theoretischen Werte für die betrachteten zwei Anlagengrößen in ihrer Größenordnung mit den messtechnisch ermittelten Werten vergleichbar sind. Diese Aussage wurde bereits von einem weiteren Verteilnetzbetreiber betätigt, der ebenfalls vor einigen Jahren Messungen bei Instandhaltungsmaßnahmen durchführte. Sollten die Genauigkeitsanforderungen an diese eher grob berechneten bzw. messtechnisch ermittelten Werte größer werden, gibt es jedoch weiteren Untersuchungsbedarf, um die Methanemissionen von Instandhaltungsmaßnahmen an GDR(M)A genauer abbilden zu können.

Weiterer Untersuchungsbedarf besteht vor allem auch im Hochdruck. Die Ermittlung von Messwerten wird auch in Hinblick auf die Berichterstattung der Methanemissionen an die „Oil and Gas Methane Partnership“ (OGMP) für die geforderte Trennschärfe der verschiedenen Assets und Emissionsarten sowie für die Verifizierung der theoretisch ermittelten Emissionen in Zukunft noch weiter an Relevanz gewinnen.

Für die Senkung von Methanemissionen konnten im Sinne der Projektziele folgende Aspekte gezeigt werden:

- 1.) Der Einsatz des PLEXOR-Systems kann Methanemissionen aufgrund des automatisierten, bedienerunabhängigen Ablaufs, der niedrigeren Ausblasevolumina bei der Prüfung der SAV sowie der standardisierten Auswertung, die Aussagen über den Verschleißprozess der Geräte zulässt, reduzieren.
- 2.) Die individuelle betreiberabhängige Überarbeitung von Prüf-Abläufen und Festlegung von Zeiten für die einzelnen Schritte der Funktionsprüfung kann zu weiterer Emissionsminderung führen.
- 3.) Durch die Verbindung der Arbeitsschiene und der Reserveschiene kann die Arbeitsschiene in die Reserveschiene entlüftet werden. Dadurch werden die Entlüftung in die Atmosphäre und damit verbundene Emissionen vermieden. Wenn jedoch keine Reserveschiene vorhanden ist, ist diese Maßnahme nicht durchführbar.

Des Weiteren kann eine Methanemissionsreduzierung von GDRA erzielt werden durch:

- 1.) Die Verlängerung der Prüfindervalle, entsprechend dem Vorschlag der ZOI nach G 495, welche wartungsbedingte Emissionen aufgrund der geringeren Häufigkeit der Maßnahmen reduziert.
- 2.) Den Ausbau nicht zwingend erforderlicher Leckgas-SBV. Dadurch wird das Ausblasen unnötiger Methanemissionen vermieden.

Literatur

- [1] Europäische Kommission, *Europäischer Grüner Deal: Erster klimaneutraler Kontinent werden*, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de.
- [2] Europäische Kommission, *Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über eine EU-Strategie zur Verringerung der Methanemissionen: COM(2020) 663 final 2020*.
- [3] United Nations Environmental Programme (UNEP), *2.0 Framework 2020*.
- [4] C. Große, M. Eyßer, S. Lehmann, M. Behnke, *Carbon Footprint Natural Gas 1.1: Abschlussbericht*, Leipzig **2021**.
- [5] UNFCCC, *Greenhouse Gas Inventory Data - Detailed data by Party*.
- [6] C. Große, A. Köllmer, *Erstellung eines Leitfadens mit Maßnahmen zur technischen Reduzierung von Methanemissionen im Gasverteilnetz: Abschlussbericht*.
- [7] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., *Gasanlagen - Betrieb und Instandhaltung: DVGW G 495 (A) 2015*.
- [8] G. Müller-Syring, C. Große, A. Wehling, M. Eyßer, *Methane Emission Estimation Method for the Gas Distribution Grid (MEEM): Requirements for a Benefit-Effort Optimized Method, Potential for Improvements and Need for Further Research 2018*.

Anhang: Berechnung des ausgeblasenen Volumens (Theoretische Betrachtung)

Die Emissionen bei der Prüfung des FD wird als freie Ausströmung aus einer Düse modelliert. Der Innendurchmesser des EO12-Rohres beträgt 10 mm, und für die Berechnung wird angenommen, dass der Querschnitt für 1/3 geöffnet ist.

Die vorhandenen Tools nehmen zur Berechnung der Betriebsdichte an, dass es sich um ideale Gase handelt. Die Berechnung der Betriebsdichte ρ_{int} und des Realgasfaktors Z sind in Formel 1 und 2 erläutert. Der Realgasfaktor beträgt jedoch bei den vorliegenden Fließdrücken immer 1,00.

$$\rho_{int} = \rho_n \cdot \frac{p_{int}}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T_{int}} \cdot \frac{Z_n}{Z_{int}} \quad 1$$

$$Z_{int} = 1 - 3,52 \cdot \left(\frac{p_{int}}{p_c}\right) \cdot e^{\left[-2,260 \cdot \left(\frac{T_{int}}{T_c}\right)\right]} + 0,274 \cdot \left(\frac{p_{int}}{p_c}\right)^2 \cdot e^{\left[-1,878 \cdot \left(\frac{T_{int}}{T_c}\right)\right]} \quad 2$$

Mit

T_c	Kritische Temperatur von Erdgas bei Referenzbedingungen (190,56 K)
p_c	Kritischer Druck von Erdgas bei Referenzbedingungen (45,99 bar)
Z_n	Referenz-Realgasfaktor für Normbedingungen (in guter Näherung = 1 für Erdgas)
p_{int}	Absolutdruck in der Rohrleitung (hier: FD+ p_n)
p_n	Luftdruck (hier: 1022 hPa)
T_{int}	283 K
κ	Adiabatischer Koeffizient [-], $\approx 1,3$ für Erdgas
A_n	Hydraulischer Querschnitt [m ²], (hier: 2,62E-5 m ²)
c_D	Druckverlustbeiwert [-], $\approx 0,61$ für scharfkantige Öffnungen

Die Berechnung des kritischen Drucks im Betriebsfall erfolgt nach Formel 3.

$$p_{krit} = p_{int} * \left[\left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \right] \quad 3$$

Fallunterscheidung zwischen dem unter- und überkritischen Fall nach Formeln 4 und 5:

$$\text{Unterkritischer Fall: } p_{atm} \geq p_{krit} \quad 4$$

$$\text{Überkritischer Fall: } p_{atm} < p_{krit}$$

$$\text{Ausflussfunktion (Anwendung im unterkritischen Fall):} \quad 5$$

$$\Psi = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{p_{atm}}{p_{int}} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_{atm}}{p_{int}} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right]}$$

Maximale Ausflussfunktion (Anwendung im überkritischen Fall):

6

$$\Psi_{max} = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa + 1}} * \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{1}{\kappa - 1}}$$

Der austretende Volumenstrom wird nach Formeln 7 bis 8 berechnet. Im unterkritischen Fall wird die Ausflussfunktion entsprechend Formel 5 und im überkritischen Fall die maximale Ausflussfunktion entsprechend Formel 6 eingesetzt.

$$\dot{m} = c_D * A_h * \sqrt{2 * p_{int} * \rho_{int}} * \Psi = \left[\frac{kg}{s}\right] \quad 7$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m} * 3600 \frac{s}{h}}{\rho_n} = \left[\frac{m^3}{h}\right] \quad 8$$

Das ausgeströmte Volumen V wird dann nach Multiplikation mit der Austrittszeit Δt berechnet:

$$V = \dot{V} \cdot \Delta t \quad 9$$

Die Emissionen die theoretisch bei den Entspannungsvorgängen für die Prüfung des oberen und unteren Ansprechdrucks des SAV entstehen (Schritte 6./7./8. und 9./10.) werden mithilfe der Zustandsgleichung (Formel 10) idealer Gase berechnet. Die Realgasfaktoren $\left(\frac{Z_n}{Z_{int}}\right)$ werden konservativ als =1 angesetzt.

$$V_{int} = V_{geo} \cdot \frac{\Delta p + p_{atm}}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T_{int}} \cdot \left(\frac{Z_n}{Z_{int}}\right) \quad 10$$

Die ausgeblasenen Rohrleitungsvolumina V_{geo} und Druckunterschiede Δp wurden wie in nachfolgender Tabelle aufgeführt abgeschätzt. Das berechnete ausgeblasene Volumen ist in der letzten Spalte eingetragen.

	Rohrinnenvolumen V_{geo} [m³]	Druckunterschied Δp [bar]	Emissionsmenge Erdgas [l, normiert]
ND Reserveschiene	0,026	SAV,o: p_{so} -FD = 0,07 bar	26
		SAV,u: FD- p_{su} -FD = 0,03 bar	25
ND Arbeitsschiene	0,029	SAV,o: p_{so} -FD = 0,04 bar	28
		SAV,u: FD- p_{su} -FD = 0,04 bar	28
MD Reserveschiene	0,012	SAV,o: p_{so} -FD = 0,4 bar	16
		SAV,u: FD- p_{su} -FD = 0,6 bar	18
MD Arbeitsschiene	0,012	SAV,o: p_{so} -FD = 0,2 bar	13
		SAV,u: FD- p_{su} -FD = 0,7 bar	19