

DMT GmbH & Co. KG

Fachstelle für Sicherheit-
Prüfstelle für
Grubenbewetterung



Am TÜV 1
45307 Essen
Telefon 0201 172-1270
Telefax 0201 172-1735

www.dmt-group.com

Unternehmensgruppe
TÜV NORD

Gutachten zur Grubengasgewinnung in Nordrhein-Westfalen
PFG-Nr. 352 019 20

Auftraggeber: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE)

Auftragnehmer: DMT GmbH & Co.KG



Autoren: Dipl.-Ing. Thomas Imgrund



Dipl.-Ing. Ralf Orzol

Essen, 03.04.2020

DMT GmbH & Co. KG
Fachstelle für Sicherheit -
Prüfstelle für Grubenbewetterung

INHALTSVERZEICHNIS

Blatt:

1 Zusammenfassung.....	4
2 Einleitung	7
3 Verwendete Unterlagen.....	9
3.1 Daten der Grubengasverwertung.....	9
3.2 Daten der Bergbaugesellschaften	10
3.3 Literatur	14
4 Gasfreisetzung und ihre Beeinflussung durch Wasseranstieg	15
4.1 Freisetzung von Grubengas aus dem Karbon.....	15
4.2 Auswirkung der Grubengasgewinnung	17
4.3 Auswirkungen des Wasseranstieges	18
4.4 Gasfreisetzung aus dem kreidezeitlichen Deckgebirge.....	19
5 Gefährdungspotential und Schutzmaßnahmen.....	20
5.1 Gefährdungspotential	20
5.2 Schadensfälle	21
5.3 Schutzmaßnahmen.....	22
6 Aktuelle Ausgasungssituation und Ausbreitung der Unterdrücke	25
6.1 Methodik der Ermittlung der Differenzdrücke zwischen Atmosphäre und Grubengebäude.....	25
6.2 Verteilung der Differenzdrücke zwischen Atmosphäre und Grubengebäude.....	26
6.3 Methangehalte des abgasaugten Grubengases.....	27
6.4 Entwicklung der Ausgasung an verfüllten Tagesschächten.....	28

7	Grubengasprovinzen	30
8	Abgrenzung potentiell gefährdeter Bereiche	32
9	Gewinn- und verwertbaren Grubengasströme	36
9.1	Methodik der Prognose.....	36
9.2	Verwertbare Methanvolumina	40
9.3	Zusätzlich durch die Gasabsaugung freigesetzte Methanvolumina	44
9.4	Reduzierung der Treibhausgasemissionen	48
9.5	Entwicklung neuer Standorte	49
9.6	Rückbau aufgegebenener Standorte	50

1 Zusammenfassung

Mit dem Auslaufen des Steinkohlenbergbaus im Ruhrrevier und in Ibbenbüren in 2018 und dem damit einhergehenden weiträumigen Anstieg des Grubenwassers ist eine tiefgreifende Änderung der Gasdarbietung der Lagerstätte zu erwarten und eine Veränderung der Ausgasungssituation an der Tagesoberfläche nicht auszuschließen.

Im Rahmen dieses Gutachtens konnten in den beiden Bergbauregionen einzelne Grubengasprovinzen identifiziert werden, die bezüglich der Gasführung und Strömungstechnik in sich zusammenhängende Teile der durch den Bergbau beeinflussten Lagerstätte darstellen. Für diese Grubengasprovinzen ergeben sich jeweils Unterschiede bezüglich der Ausgasungssituation und der technischen Rahmenbedingungen für die Grubengasverwertung.

Die Gewinnung und Verwertung von Grubengas wird seit 2000 durch das Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) im Hinblick auf den Klimaschutz gefördert. Bei seinem Hauptbestandteil Methan handelt es sich um ein klimaschädliches Gas mit einem relativen Treibhauspotential (Global Warming Potential) von 25. Durch die energetische Verwertung und damit die Zerstörung des Methans, welches im Wesentlichen in Kohlendioxid umgewandelt wird, ergibt sich ein positiver Effekt im Sinne des Klimaschutzes. Vor dem Hintergrund, dass Grubengas ohne eine gezielte Absaugung und Verwertung aufgrund des natürlichen Lagerstättendruckes in die Atmosphäre abströmen würde, wurde die Verstromung von Methan im EEG aufgenommen.

Auf Basis von Betriebsdaten, der Prognose des Grubenwasseranstieges und Informationen zur Lagerstätte und zur Geologie wurde eine Prognose der in Zukunft noch gewinn- und verwertbaren Grubengasmengen erstellt. Für den angenommenen Zeitraum des Grubenwasseranstieges von 2019 bis 2035 wurde für das Ruhrrevier und Ibbenbüren ein technisch gewinn- und verwertbares Methanvolumen von rund 1,82 Milliarden m³ prognostiziert. Der unter den derzeitigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich verwertbare Anteil (Methangehalt über 15 Vol.-%) liegt mit 1,44 Milliarden m³ deutlich darunter. Weiterhin ist abzusehen, dass die jährlich technisch verwertbaren Gasvolumina von rund 197 Mio. m³ in 2019 zunächst auf rund 84 Mio. m³ in 2030 abfallen und danach aber nur noch langsam zurückgehen. Zusätzlich werden sich die kostenrelevanten Bedingungen für die Gasgewinnung und -verwertung verschlechtern (steigende Saugdrücke und zurückgehende Methangehalte). Hinzu kommt, dass die bisherige Förderung der Grubengasverwertung durch das EEG (2000) ab 2021 sukzessive ausläuft. Damit ist

davon auszugehen, dass dann für verschiedene bislang betriebene Standorte die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben ist und die Gasabsaugung und -verwertung wahrscheinlich nicht mehr im bisherigen Umfang fortgeführt werden kann.

Bei einem vollständigen Entfall der technischen Gasabsaugung ist davon auszugehen, dass sich bis 2035 1,57 Milliarden m³ Methan (entsprechend 28,3 Mio. Tonnen Kohlendioxidäquivalenten) an die Atmosphäre freisetzen werden. Durch die technische Gasabsaugung und Verwertung des Grubengases nach EEG können hingegen Treibhausgasemissionen in der Größenordnung von 24,5 Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalente vermieden werden. Dies unter Berücksichtigung der durch den angelegten Unterdruck zusätzlich zu den ausschließlich durch den Lagerstättendruck verursachten Entgasung der Grubenbaue abgesaugten Methan- und Kohlendioxidmengen sowie der bei der Verwertung des Grubengases entstehenden Kohlendioxid-Abgasmengen. Hierzu ist festzustellen, dass die nahezu vollständige Erfassung und Verwertung des sonst passiv freigesetzten Gasvolumens die zielgerichtete Annahme durch Gasabsaugung voraussetzt. Ohne diese Absaugung und das gezielte Anlegen von Unterdrücken an abgeworfene Grubenbaue könnte eine Verwertung nicht stattfinden. Im Falle der Verwertung der gesamten technisch gewinnbaren Methanmenge werden bis 2035 zusätzlich zu der ausschließlich durch den Lagerstättendruck verursachten Entgasung der Grubenbaue rund 250 Millionen m³ Methan abgesaugt.

Durch den durch das EEG initialisierten Ausbau der Grubengasgewinnung aus stillgelegten Bergwerken sind heute weite Teile des Ruhrreviers derart beeinflusst, dass in den offenen Hohlräumen des Bergbaus ein mehr oder weniger großer Unterdruck anliegt. Dadurch wird derzeit ein kontrolliertes, aber auch ein unkontrolliertes Abströmen von Grubengas aus dem Grubengebäude zur Tagesoberfläche in weiten Bereichen vermieden. Außerdem werden Grubenfelder, die vor etwa 1990 abgeworfen sind und nicht über Entgasungsleitungen planmäßig passiv entgast werden können, durch die Gasabsaugung mit beeinflusst.

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens wurden diese Zusammenhänge analysiert und Effekte herausgearbeitet, die sich aus Bergwerksstilllegungen, Grubenwasseranstieg sowie Einstellung oder Reduzierung der Gasabsaugung ergeben können. Es wurden in diesem Zusammenhang Bereiche des Grubengebäudes identifiziert, in denen bedingt durch den Grubenwasseranstieg der Unterdruck der Gasabsaugung möglicherweise nicht mehr wirksam sein wird und sich damit die Gefährdungspotentiale für die

Tagesoberfläche verändern können. Hier besteht Bedarf für ein zielgerichtetes Monitoring und die Festlegung ggf. erforderlicher Schutzmaßnahmen. Es handelt sich um Grubenfelder in den Städten Bochum, Castrop-Rauxel, Dortmund, Duisburg, Essen, Gelsenkirchen, Herne, Herten, Lünen, Marl und Oer-Erkenschwick.

Insgesamt ergibt sich aus der Grubengasgewinnung und -verwertung über die Umsetzung von Entgasungskonzepten durch den Bergbaubetreiber hinaus ein Beitrag zum Schutz der Tagesoberfläche vor Gefahren durch austretendes Grubengas.

2 Einleitung

Die Gewinnung und Verwertung von Grubengas aus stillgelegten Bergwerken entwickelte sich im Ruhrrevier mit Inkrafttreten des Gesetzes für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) im Jahr 2000. In den nachfolgenden Jahren wurde die Grubengasgewinnung stetig ausgebaut. Diese Entwicklung ging mit der fortschreitenden Stilllegung großer Steinkohle-Grubenfelder wie z.B. im Bereich der Emschermulde einher. Die installierte elektrische Leistung der mit Grubengas aus dem stillgelegten Bergbau betriebenen Blockheizkraftwerke erreichte ihr Maximum in 2009 mit rund 143 MW_{el.} Seitdem ist die Grubengasgewinnung leicht rückläufig, was mit sich verschlechternden Gasqualitäten und dem fortschreitenden Anstieg des Grubenwassers in einigen Grubenfeldern zusammenhängt. Tiefgreifende Veränderungen sind nach dem Ende der Steinkohlenproduktion in 2018 mit dem vorgesehenen weiträumigen Anstieg des Grubenwassers zu erwarten.

Die DMT GmbH & Co.KG (DMT) wurde durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE) am 02.04.2019 beauftragt, ein Gutachten zur Entwicklung der Grubengassituation für das Ruhrrevier und Ibbenbüren bis 2035 zu erstellen. Basierend auf der Ermittlung der derzeitigen Ausgangssituation waren unter Berücksichtigung des Grubenwasseranstiegs die bis 2035 verwertbaren Restgasmengen zu prognostizieren.

Die Bearbeitung des vorliegenden Gutachtens erfolgte in vier Arbeitsschritten. Diese umfassen:

- eine Darstellung der aktuellen Ausgasungssituation und der derzeitigen Ausbreitung der durch die Grubengasgewinnung an die stillgelegten Grubenbaue angelegten Unterdrücke,
- eine Identifizierung und Darstellung von eigenständigen Grubengasprovinzen,
- eine Prognose der bis zum Jahr 2035 gewinn- und verwertbaren Grubengasströme und
- eine Darstellung von Gefährdungspotentialen und Schutzmaßnahmen für Bereiche, die nicht durch die Grubengasabsaugung abgedeckt bzw. in Zukunft nicht abgedeckt sind.

Das vorliegende Gutachten beinhaltet eine Beschreibung der gewonnenen Erkenntnisse, eine Bewertung des Einflusses der Grubengasgewinnung aus stillgelegten Bergwerken auf die Ausgasungssituation an der Tagesoberfläche sowie der möglichen Folgen einer Einstellung der Grubengasgewinnung bzw. Reduzierung ihrer Einflussbereiche aufgrund des Grubenwasseranstieges. Ein weiteres Ergebnis ist die Prognose der zukünftig gewinn- und verwertbaren Grubengasmengen.

Bezüglich des vorgesehenen Grubenwasseranstieges wurde ein Anstieg bis zu einem Niveau von -600 m NN im Ruhrrevier bis zum Jahr 2035 zugrunde gelegt.

3 Verwendete Unterlagen

3.1 Daten der Grubengasverwertung

- [1] Produktionsdaten der Gasverwertung (Entwicklung der Stromproduktion, Methangehalte und Unterdrücke) für den Zeitraum 2001 – 2018, Minegas GmbH (unveröffentlicht)
- [2] Produktionsdaten der Gasverwertung (Entwicklung der Stromproduktion, Methangehalte und Unterdrücke) für den Zeitraum 2016 – 2018, Mingas-Power GmbH (unveröffentlicht)
- [3] Produktionsdaten der Gasverwertung (Entwicklung der Stromproduktion, Methangehalte und Unterdrücke) für den Zeitraum 2016 – 2018, A-tec Anlagentechnik GmbH (unveröffentlicht)
- [4] Produktionsdaten der Gasverwertung (Entwicklung der Stromproduktion, Methangehalte und Unterdrücke) für den Zeitraum 2016 – 2018, Stadtwerke Herne AG (unveröffentlicht)
- [5] Produktionsdaten der Gasverwertung (Entwicklung der Stromproduktion, Methangehalte und Unterdrücke) für den Zeitraum 2016 - 2018, Siloxa Gas GmbH (unveröffentlicht)
- [6] Dokumentationen der zur Gasförderung genutzten Entgasungsleitungen und Bohrungen mit Teufen der Anschlüsse an das Grubengebäude, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der Minegas GmbH, 2019 (unveröffentlicht)
- [7] Dokumentationen der zur Gasförderung genutzten Bohrungen mit Teufen der Anschlüsse an das Grubengebäude, A-tec Anlagentechnik GmbH, 2018 (unveröffentlicht)
- [8] Prognosen der nach Abwerfen der aktiven Grubengebäude erfolgenden Methanabströme für die Bergwerke Prosper-Haniel und Ibbenbüren, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der Mingas-Power GmbH, 2018 (unveröffentlicht)
- [9] Karte der Berechtsamen für Kohlenwasserstoffe, Bezirksregierung Arnsberg Abteilung Bergbau und Energie in NRW, 2019

- [10] Gutachterliche Stellungnahme zum Verwerten von Grubengas als Beitrag zur Emissionsvermeidung und zur Gefahrenabwehr, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag des Interessenverbandes Grubengas e.V., Bearb.-Nr. 352 232 17 vom 13.12.2018

3.2 Daten der Bergbaugesellschaften

- [11] Gutachtliche Stellungnahme zum Ausgasungs- und Entgasungskonzept für den Rückzug aus dem Grubengebäude des Bergwerks West der RAG Deutsche Steinkohle, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Deutsche Steinkohle AG, PFG-Nr. 341 051 12 vom 15.06.2012
- [12] Stellungnahme zum Ausgasungs- und Entgasungskonzept für den Rückzug aus dem Grubengebäude des Bergwerkes Walsum in Duisburg, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Deutsche Steinkohle AG, PFG-Nr. 351 067 08 vom 30.05.2008
- [13] Stellungnahme zum Rückzug aus dem Grubengebäude des Bergwerks Lohberg/Osterfeld in Dinslaken - Teil A: Ausgasungs- und Entgasungskonzept, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Deutsche Steinkohle AG, PFG-Nr. 351 128 05 vom 31.08.2005
- [14] Gutachtliche Stellungnahme zum Ausgasungs- und Entgasungskonzept für das Abdämmen von Grubenbauen des Bergwerkes Prosper-Haniel der RAG Deutsche Steinkohle, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Deutsche Steinkohle AG, PFG-Nr. 341 075 18 vom 16.05.2018
- [15] Gutachtliche Stellungnahme zum Ausgasungs- und Entgasungskonzept für den Rückzug aus dem Grubengebäude des Bergwerks Lippe der RAG Deutsche Steinkohle, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Deutsche Steinkohle AG, PFG-Nr. 341 093 08 vom 01.10.2008
- [16] Gutachtliche Stellungnahme zum Ausgasungs- und Entgasungskonzept für den Rückzug aus dem Grubengebäude des Bergwerks Auguste Victoria der RAG Deutsche Steinkohle, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Deutsche Steinkohle AG, PFG-Nr. 341 236 14 vom 12.11.2014

- [17] Gutachtliche Stellungnahme zum Ausgasungs- und Entgasungskonzept für den Rückzug aus dem Grubengebäude des Bergwerks Ost der RAG Deutsche Steinkohle, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Deutsche Steinkohle AG, PFG-Nr. 341 192 10 vom 29.11.2010
- [18] Gutachtliche Stellungnahme zum Ausgasungs- und Entgasungskonzept für den Rückzug aus dem Grubengebäude des Bergwerkes Ibbenbüren der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, PFG-Nr. 341 003 19 vom 29.01.2019
- [19] Diverse Gutachten und Abschlussberichte zu den Schachtverfüllungen (DMT GmbH & Co.KG, im Auftrag der RAG Deutsche Steinkohle AG, der RAG Aktiengesellschaft und der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH)
- [20] Gutachtliche Stellungnahme zur Freisetzung von Grubengas an der Tagesoberfläche im Zuge des Wasseranstiegs im Bereich der Wasserhaltungsprovinz Prosper-Haniel, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, PFG-Nr. 351 164 18 vom 21.09.2018
- [21] Gutachtliche Stellungnahme zur Freisetzung von Grubengas an der Tagesoberfläche im Zuge des Wasseranstiegs im Bereich der Wasserhaltungsprovinz Fürst Leopold, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, PFG-Nr. 351 220 17 vom 27.11.2017
- [22] Gutachtliche Stellungnahme zur Freisetzung von Grubengas an der Tagesoberfläche im Zuge des Wasseranstiegs im Bereich der Wasserhaltungsprovinz Auguste Victoria, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, PFG-Nr. 351 172 17 N1 vom 17.10.2017
- [23] Gutachtliche Stellungnahme zur Erstbewertung der Gasgefährdung der Tagesoberfläche durch Anstieg des Grubenwassers in der Wasserprovinz Amalie der RAG Aktiengesellschaft, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, PFG-Nr. 351 098 19 vom 24.07.2019
- [24] Gutachtliche Stellungnahme zur Erstbewertung der Gasgefährdung der Tagesoberfläche durch Anstieg des Grubenwassers in der Wasserprovinz Zollverein der RAG Deutsche Steinkohle, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH, PFG-Nr. 351 120 17 vom 15.05.2019

- [25] Protokolle der Messungen der Ausgasung im Zuge der Schachtkontrollen, RAG Montan Immobilien GmbH, Stand 31.12.2018
- [26] Protokolle der Messungen der Ausgasung im Zuge der Schachtkontrollen, GfV Gesellschaft für Vermögensverwaltung mbH, Stand 31.12.2018
- [27] Protokolle der Messungen der Ausgasung im Zuge der Schachtkontrollen, E.ON SE, Stand 31.12.2018
- [28] Protokolle der Messungen der Ausgasung im Zuge der Schachtkontrollen, ThyssenKrupp Steel Europe AG, Stand 31.12.2018
- [29] Protokolle der Messungen der Ausgasung im Zuge der Schachtkontrollen, Littlefuse GmbH, Stand 31.12.2018
- [30] Messwerte der Ausgasung an verfüllten Schächten, DMT GmbH & Co.KG, 2018 - 2019 (unveröffentlicht)
- [31] Diverse Gutachten bezüglich der Ausgasung für einzelne Schachtstandorte, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG Montan Immobilien GmbH (unveröffentlicht)
- [32] Diverse Gutachten bezüglich der Ausgasung für einzelne Schachtstandorte, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der GfV Gesellschaft für Vermögensverwaltung mbH (unveröffentlicht)
- [33] Diverse Gutachten bezüglich der Ausgasung für einzelne Schachtstandorte, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der E.ON SE (unveröffentlicht)
- [34] Diverse Gutachten bezüglich der Ausgasung für einzelne Schachtstandorte, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der ThyssenKrupp Steel Europe AG (unveröffentlicht)
- [35] Diverse Gutachten bezüglich der Ausgasung für einzelne Schachtstandorte, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der Littlefuse GmbH (unveröffentlicht)
- [36] Auszüge aus dem Grubenbild, Stand 31.12.2018, RAG Aktiengesellschaft

- [37] Auszüge aus dem Grubenbild, Stand 31.12.2018,
RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH

- [38] Karte der Berechtsamen des Steinkohlenbergbaus, Bezirksregierung Arnsberg
Abteilung Bergbau und Energie in NRW

- [39] Karte der Wasserhaltungsprovinzen, Stand 31.12.2018, RAG Aktiengesellschaft

- [40] Gasinhaltsdatenbank der Lagerstätten Ruhrrevier und Ibbenbüren, Stand
31.12.2018, DMT GmbH & Co.KG (unveröffentlicht)

- [41] Prognosen des Wasseranstieges im Ruhrrevier und in Ibbenbüren auf Basis des
Boxmodelles, Stand 31.12.2018, DMT GmbH & Co.KG im Auftrag der RAG
Aktiengesellschaft (unveröffentlicht)

- [42] Ergebnisse der Lotungen des Grubenwasserstandes, Stand 31.12.2018,
RAG Aktiengesellschaft (unveröffentlicht)

- [43] Sorptionsisothermen für Kohlen der Ruhrlagerstätte, 2002, DMT GmbH & Co.KG
(unveröffentlicht)

3.3 Literatur

- [44] Rundverfügung „Stilllegung von Grubenfeldern im Steinkohlenbergbau und Entgasungsmöglichkeiten abgeworfener Tagesöffnungen“, Landesoberbergamt NRW vom 02.08.2000, Aktenzeichen -18.8-2000-7-
- [45] HUSKE, A. (2006): Die Steinkohlenzechen im Ruhrrevier, 3. Auflage
- [46] WINTER, K. (1958): Derzeitiger Stand der Vorausberechnung der Ausgasung beim Abbau von Steinkohlenflözen. - Bergfreiheit 23 (1958), S. 439/454.
- [47] KOPPE, U. (1975): Der Ausgasungsgrad von Begleitflözen im Liegenden der flachen Lagerung. - Glückauf-Forschungshefte 36 (1975), S. 138/144.
- [48] Treibhauspotentiale (Global Warming Potential, GWP) ausgewählter Verbindungen und deren Gemische gemäß Viertem Sachstandsbericht des IPCC bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren, Umweltbundesamt, Mai 2019, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/treibhauspotentiale_ausgewaehlter_verbindungen_und_deren_gemische.pdf

4 Gasfreisetzung und ihre Beeinflussung durch Wasseranstieg

4.1 Freisetzung von Grubengas aus dem Karbon

Während der Entstehung der Steinkohle im Karbon vor etwa 300 Mio. Jahren sind neben Wasser große Mengen an Gasen - im Wesentlichen Methan, Kohlendioxid und Stickstoff - gebildet worden. Während ein großer Anteil dieser Gase über Jahrtausende an die Atmosphäre abgegeben worden ist, ist eine bedeutende Menge bis heute in der Lagerstätte gespeichert. Das Gemisch dieser Gase wird im Rahmen dieses Gutachtens als Flözgas bezeichnet. Die Gase liegen einerseits als freies Gas im Porenraum der Kohle und der die Kohle umgebenden Nebengesteine vor, sind aber zum weitaus größeren Teil adsorptiv an die innere Oberfläche der Kohle und der organischen Substanz innerhalb der Nebengesteine gebunden. In den nordrhein-westfälischen Lagerstätten besteht das an die Kohle und die Nebengesteine gebundene Gasgemisch zu über 90 % aus Methan.

Bei der bergmännischen Gewinnung der Kohle werden je nach Höhe der Gasführung der Kohlenflöze mehr oder weniger große Mengen Methan frei. Das Methan stammt sowohl aus der abgebauten Kohle selbst als auch aus nicht abgebauten Nachbarflözen bzw. Restpfeilern, welche zwischen abgebauten Flächen verbleiben, sowie untergeordnet aus den Nebengesteinen. Aus dem freigesetzten Gas ergibt sich im aktiven Bergbau ein erhebliches Gefährdungspotential. Daher wird das freigesetzte Gas durch eine ständige Belüftung der bergmännisch geschaffenen Hohlräume (Grubenbaue) auf in der Regel unter 1 Vol.-% verdünnt und kontrolliert an die Tagesoberfläche abgeführt. Im Steinkohlenbergbau wird dazu durch sogenannte Hauptgrubenlüfter ein Unterdruck von einigen Hektopascal (hPa) an ausgewählte Tagesschächte angelegt, um eine gerichtete Durchströmung der Grubenbaue mit Luft (Wettern) sicherzustellen. Im bergmännischen Sprachgebrauch wird dies als Bewetterung bezeichnet. Können die Gaszuströme auf diese Weise nicht beherrscht werden, wird das Gas gezielt über Bohrungen erfasst und abgesaugt, bevor es in die Grubenbaue eintritt.

Nach der Einstellung der Kohlegewinnung werden nicht mehr benötigte Grubenbaue in abzuwerfenden Bereichen explosionsfest durch sogenannte Abschlussdämme verschlossen. Damit werden diese Bereiche von den weiter betriebenen und bewetterten Bereichen abgetrennt.

Die Lagerstätte gibt nach der Kohlegewinnung über Jahre bis Jahrzehnte weiterhin Gas an den verbliebenen Hohlraum, der aus streckenförmigen Grubenbauen und abbaubedingten Auflockerungszonen besteht, ab. Dabei wird in den abgedämmten Bereichen die vorher vorhandene Luft verdrängt und der Sauerstoffanteil durch Oxidationsprozesse verringert. Entsprechend sind wasserfreie Hohlräume abgeworfener Grubenbaue des Steinkohlenbergbaus mit sauerstoffarmen Gasgemischen erfüllt, die im Wesentlichen aus Methan, Stickstoff und Kohlendioxid bestehen. Diese Gasgemische werden im Rahmen dieses Gutachtens als Grubengas bezeichnet. Generell werden nach dem Abwerfen von Grubenbauen die Methan- und Kohlendioxidgehalte zunehmen, während der Sauerstoffgehalt abnimmt. Die Gaszusammensetzung innerhalb eines stillgelegten Bergwerkes oder Teilen eines stillgelegten Bergwerkes gleicht sich durch verschiedene Effekte wie Auftrieb und Diffusion längerfristig an.

In einem betriebenen Bergwerk findet abhängig von barometrischen Luftdruckschwankungen ein Gasaustausch zwischen abgeworfenen und offenen Grubenbauen bzw. der freien Atmosphäre statt. Bei niedrigen bzw. fallenden Luftdrücken strömt Gas aus abgeworfenen Grubenbauen in das offene Grubengebäude bzw. an die Tagesoberfläche. Bei hohen bzw. steigenden Luftdrücken kann sich die Strömungsrichtung umkehren. Dieser Effekt wird wesentlich durch den Unterdruck, den die Hauptgrubenlüfter an das offene Grubengebäude anlegen, überprägt. Dieser Unterdruck überträgt sich auch auf benachbarte abgeworfene Grubenbaue. Entsprechend sind während des Betriebes eines Bergwerkes aufgrund des vorhandenen Druckgefälles Grubengasströme in Richtung der Tagesoberfläche unwahrscheinlich. Das den offenen Grubenbauen zuströmende Grubengas wird planmäßig durch die Bewetterung ausgespült bzw. separat über die Gasabsaugung erfasst.

Im Zuge der Stilllegung erfolgt das Abschalten der Hauptgrubenlüfter. Damit ändert sich die oben beschriebene Situation. Das aus der Lagerstätte weiterhin nachströmende Methan wird nicht mehr über die Bewetterung abgeführt, so dass sich die Gaszusammensetzung in den Grubenbauen wie oben beschrieben ändert. Aufgrund des entfallenden Druckgefälles wird die Wahrscheinlichkeit barometrischer Ausgasung aus den abgeworfenen Grubenbauen an der Tagesoberfläche verstärkt. Abhängig vom Volumenstrom des weiterhin aus dem Gebirge zuströmenden Methans und von der Quantität und Qualität potentieller Strömungswege zur Tagesoberfläche kann sich ggf. ein mehr oder weniger großer Überdruck in einem stillgelegten Bergwerk aufbauen. Daraus ergibt sich dann ein Druckgefälle, welches ständig oder überwiegend zur

Tagesoberfläche gerichtet ist. In Abhängigkeit der Durchlässigkeit des Deckgebirges, die durch natürliche Störungen (Tektonik) oder künstlich geschaffene Störungen (z.B. mit Lockermassen verfüllte Schächte) lokal erhöht ist, kann bei barometrischem Hochdruck auch eine in das Grubengebäude gerichtete Ausgleichsströmung entstehen.

Das Abschalten der Hauptgrubenlüfter macht sich im Wesentlichen in den Fällen bemerkbar, in denen ein Unterdruck an das Grubengebäude angelegt wird und sich auch auf die umliegenden abgeworfenen Grubenbaue weiträumig auswirkt. Dies betrifft die zuletzt stillgelegten Bergwerke Prosper-Haniel und Ibbenbüren sowie die Wasserhaltungen Carolinenglück und Haus Aden. Die anderen Wasserhaltungen betreiben untertägige Lüfteranlagen, bei denen sich in der Regel, bezogen auf umliegende abgeworfene Grubenbaue, kein weiträumiger Unterdruck ausbilden kann.

Im Zuge der Stilllegung von Baufeldern oder ganzen Bergwerken erfolgt der Abschluss zur Tagesoberfläche durch den Verschluss der Tagesschächte. Seit den späten 1970er Jahren werden die Schächte mit hydraulisch erhärtendem Baustoff verfüllt. Davor wurden die Schächte in der Regel mit Lockermassen verfüllt und mit Abdeckplatten aus Beton abgedeckt. Seit den späten 1980er Jahren werden im Zuge der Verwahrung von Tagesschächten Entgasungsleitungen hergerichtet, über welche Grubengas planmäßig zur Tagesoberfläche abströmen kann. Seit dem Jahr 2000 wird von den Bergwerksbetreibern im Zuge von Bergwerksstilllegungen ein Entgasungskonzept gefordert [44]. Demnach ist eine Bilanzierung der nach Stilllegung langfristig zu erwartenden Grubengasabströme aufzustellen und es ist darzulegen, wie diese kontrolliert abgeführt werden sollen. Die Entgasungskonzepte sehen in der Regel eine passive Entgasung über planmäßig in verfüllten Tagesschächten hergerichtete Entgasungsleitungen vor, durch die der Aufbau von höheren Überdrücken im Grubengebäude verhindert wird.

4.2 Auswirkung der Grubengasgewinnung

Während die Absaugung von Grubengas aus aktiven Steinkohlenbergwerken schon lange Stand der Technik war, entwickelte sich die Gewinnung von Grubengas durch Absaugung aus stillgelegten Bergwerken sowie die energetische Verwertung von Grubengas in Nordrhein-Westfalen mit dem Inkrafttreten des Gesetzes für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) am 01.04.2000.

Zur gleichen Zeit zog sich der Bergbau im Ruhrrevier aus zentralen Bereichen der Lagerstätte weiträumig zurück. Im Bereich der Emschermulde wurden ab Mitte der 1990er Jahre bis in die 2000er Jahre großflächig Bergwerke stillgelegt. Hierbei konnte zunächst nahezu flächendeckend ein Anstieg der Ausgasung festgestellt werden. Im gleichen Zeitraum begann weiträumig die Gewinnung und Verwertung von Grubengas aus stillgelegten Bergwerken. Zur Grubengasgewinnung wurden zunächst die vorhandenen Entgasungsleitungen, später auch Gewinnungsbohrungen oder spezielle Grubengasgewinnungsleitungen genutzt, die nicht im Entgasungskonzept des Bergwerksbetreibers vorgesehen waren.

Durch die Gewinnung von Grubengas aus stillgelegten Bergwerken verringert sich in der Folge der Abstrom von Grubengas zur Tagesoberfläche und damit in die Atmosphäre. Abhängig vom abgesaugten Gasgemischstrom, dem Methanzustrom aus der Lagerstätte und Kurzschlussströmen von Luft in das Grubengebäude bildet sich ein mehr oder wenig hoher Unterdruck im Grubengebäude aus. Grubengasströme zur Tagesoberfläche aus Grubenbauen, die ständig unter Unterdruck stehen, sind nicht möglich. Weiterhin wird durch den Unterdruck eine Verdrängung bzw. Verschleppung von methanreichen Gasgemischen in ursprünglich methanärmere Grubenfelder verhindert.

In Bereichen, die von der Gasabsaugung in eher geringem Maße beeinflusst sind, aber in Abhängigkeit der natürlichen Luftdruckschwankungen nicht ständig unter Unterdruck stehen, werden Gasaustritte ebenfalls unterbunden oder zumindest reduziert. Besonders an den südlich der Emschermulde gelegenen Schächten (z.B. südlich des Bergwerkes Zollverein) macht sich der Unterdruck eher untergeordnet bemerkbar, jedoch konnte ein deutlicher Rückgang der Ausgasung festgestellt werden.

4.3 Auswirkungen des Wasseranstieges

Im Zuge der Beendigung des Steinkohlenbergbaus in 2018 geht nun eine weitreichende Umstrukturierung der Grubenwasserhaltungen und damit verbunden ein weiträumiger Wasseranstieg einher. Für die Ausgasung ergeben sich durch den Grubenwasseranstieg zusätzliche Effekte [20, 21, 22, 23, 24].

Zunächst ist durch den Wasseranstieg mit einem sukzessiven Rückgang des Methanzustromes aus der Lagerstätte in die Grubenbaue zu rechnen, da die Desorption aus den Flözen aufgrund des entgegenwirkenden hydrostatischen Druckes abnimmt. Es

kann unterstellt werden, dass die Desorption zum Erliegen kommt, sobald der hydrostatische Druck der Wassersäule den Gasdruck übersteigt, der mit dem jeweiligen Restgasinhalt der Kohle korreliert. Bezüglich der Gewinnung von Grubengas kann dies zur Folge haben, dass aufgrund rückgehender Gasströme und / oder Gasqualitäten die Gewinnung technisch oder wirtschaftlich nicht mehr möglich ist. Der verbleibende, nicht abgesaugte und verwertete Desorptionsstrom wird dann an die Atmosphäre abgegeben.

Weiterhin können durch den Wasseranstieg Strömungswege innerhalb des Grubengebäudes überstaut und damit unterbrochen werden. Dies gilt insbesondere für Verbindungsstrecken, die im Zuge des Verbundes von einzelnen Bergwerken in der Regel auf tieferen Sohlen hergestellt wurden. Dies kann zur Folge haben, dass Verbindungen zwischen einzelnen Teilen des Grubengebäudes und Entgasungsleitungen, Grubengasförderleitungen oder Grubengasgewinnungsbohrungen entfallen und diese somit nicht mehr planmäßig entgast bzw. besaugt werden können.

Im Zuge des Wasseranstieges kann sich die Gaszusammensetzung im Grubengebäude auch dadurch ändern, dass z.B. ein methanreicheres Gasgemisch durch das ansteigende Wasser in andere Grubenbaue in horizontaler oder vertikaler Richtung verdrängt wird. Dies kann dazu führen, dass die Methangehalte in Grubenbauen im Bereich gasarmer oder gasfreier Flöze, welche bisher keine oder geringe Methangehalte aufwiesen, deutlich ansteigen.

Der rein barometrische Austausch von Grubengas zwischen Grubengebäude und freier Atmosphäre endet nur bei vollständiger Überstauung der abgeworfenen Grubenbaue. Erfolgt keine vollständige Überstauung, wird sich dieser Austausch im Zuge des Wasseranstieges aufgrund des sich verringernenden gaserfüllten Hohlraumvolumens verringern.

4.4 Gasfreisetzung aus dem kreidezeitlichen Deckgebirge

Vorkommen von Methan bestehen auch in den die Steinkohlenlagerstätte teilweise überdeckenden Schichten der Kreide. In Klüften des sogenannten Deckgebirges steht das Gas unter hohen Drücken von mehreren 100 bis zu 10.000 hPa an. Die Freisetzung dieses Gases erfolgt nahezu unabhängig vom Luftdruck. Gasaustritte mit relativ hohen Gasdrücken im Deckgebirge sind u.a. bei Explorationsbohrungen im südlichen Münsterland im bergbaulich nicht beeinflussten Teil der Lagerstätte aufgetreten. Im

östlichen Ruhrrevier und südlichen Münsterland sind sowohl in bergbaulich beeinflussten als auch in bergbaulich unbeeinflussten Bereichen Austrittsstellen von Methan und Kohlendioxid an der Tagesoberfläche bekannt, z.B. auf der Bergehalde Großes Holz in Bergkamen, der Kettlersiedlung in Bergkamen, der Siedlung Bocksheide und in den Lippewiesen in Hamm-Herringen. Weiterhin kam es in den letzten Jahren zu Freisetzungen von Methan bei Geothermie- und Lotungsbohrungen in Lünen und Hamm.

Ein Einfluss der Grubengasgewinnung auf diese Gasaustritte ist nicht zu unterstellen, da keine Verbindungen zwischen den Gasreservoirs im Deckgebirge und dem Grubengebäude bestehen. So erfolgte z.B. der Gasaustritt bei einer Geothermiebohrung in Hamm-Pelkum im Juni 2018 zu einem Zeitpunkt, als der Unterdruck im Grubengebäude unterhalb dieser Bohrung -550 hPa betrug, während das Gas unter hohem Druck aus der mit geringer Teufe niedergebrachten Bohrung austrat.

Auch an einzelnen Schachtstandorten im östlichen Ruhrrevier zeigt sich ein von der Grubengasgewinnung unabhängiges Ausgasungsverhalten, welches offensichtlich auf Gas aus dem Deckgebirge zurückzuführen ist.

5 Gefährdungspotential und Schutzmaßnahmen

5.1 Gefährdungspotential

Im Bereich von Grubengasaustritten besteht für vollständig oder teilweise geschlossene Räume (Gebäude, Abwasserkanäle etc.) und nur eingeschränkt belüftete Orte (Tunnel, Baugruben etc.) die Gefahr des Eindringens von Grubengas. An den Zutrittsstellen selbst können hohe Methan- und / oder Kohlendioxidgehalte sowie verminderte Sauerstoffgehalte auftreten. In geschlossenen, nicht belüfteten Räumen besteht die Gefahr der Anreicherung von Methan und Kohlendioxid sowie der Verdrängung von Luft und damit von Sauerstoff. Erhöhte Methangehalte in der Luft (4,4 - 16,5 Vol.-%) stellen eine Explosions- bzw. Brandgefahr dar. Erhöhte Kohlendioxidgehalte können zu einer Lähmung des Atemzentrums und daraus resultierend zu Bewusstlosigkeit und Tod durch Ersticken führen. Für Kohlendioxid gilt ein Arbeitsplatzgrenzwert von 0,5 Vol.-%. Verminderte Sauerstoffgehalte können zu Schläfrigkeit und Unwohlsein, zu Atemnot, Bewusstlosigkeit und schließlich zu Tod durch Ersticken führen.

Neben der direkten Gefährdung hat Methan als Treibhausgas einen Effekt auf das Klima. In der Atmosphäre hat eine Tonne Methan die gleiche Wirkung bezüglich des Treibhauseffektes wie 25 Tonnen Kohlendioxid.

5.2 Schadensfälle

In den letzten Jahrzehnten kam es wiederholt zu Schadensfällen durch unkontrollierte Grubengasaustritte. Unkontrollierte Gasaustritte erfolgten dabei sowohl im Bereich verfüllter Tagesschächte wie z.B. der Schachanlage Beeckerwerth (Duisburg), dem Spülschacht Ottostraße (Bergwerk Friedrich Thyssen / Duisburg), dem Bergwerk Ludwig (Essen-Rellinghausen), dem Bergwerk Hundsnocken (Essen-Heisingen), dem Schacht Mont Cenis 1 (Herne), dem Schacht Lothringen 3 (Bochum) und dem Schacht Jacob (Bergwerk Robert Müser / Bochum), als auch in Wohnbebauungen im Bereich tagesnahen Bergbaus (Bochum-Langendreer, Dortmund-Lütgendortmund, Dortmund-Marten). Neben Austritten von Methan kam es auch zu Austritten kohlenstoffdioxidreicher Gasgemische (Bergwerke Ludwig, Hundsnocken und Robert Müser).

Bei den Schadensfällen an Schächten wurde Grubengas mit hohen Methangehalten bzw. hohen Kohlendioxidgehalten und Sauerstoffdefiziten in die umliegende Bodenluft, in Kabeltunnel, die Kanalisation bzw. in Gebäude verschleppt. In der Regel strömte Grubengas über die Füllsäule oder aber über im Schacht verbliebene unverfüllte Rohrleitungen aus. Im Fall des Schachtes Lothringen 3 kam es nach dem Absacken der Füllsäule zu einem Gasaustritt mit Brandereignis. Solche Ereignisse können weitere Sofortmaßnahmen wie z.B. Evakuierungen zur Folge haben.

In Bochum-Langendreer wird bis heute zum Schutz von Wohnbebauungen eine sogenannte Schutzgasabsaugung betrieben, die Grubengas aus Bohrlöchern erfasst. In Dortmund-Dorstfeld wird seit 2001 eine Grubengasanlage betrieben, die Grubengas aus einer ursprünglich zur Gefahrenabwehr geteufte Bohrung gewinnt. Eine weitere Gasabsauganlage mit Besaugung von Bohrungen zur Besicherung von Wohngebäuden war in der Vergangenheit auch in Dortmund-Marten in Betrieb.

5.3 Schutzmaßnahmen

Im Zusammenhang mit Gasaustritten erfolgen präventive Schutzmaßnahmen, die ohne Vorliegen einer akuten Gefährdung umgesetzt werden, sowie Schutzmaßnahmen, die im Schadensfall umgesetzt werden. Weiterhin kann zwischen weiträumig wirksamen Schutzmaßnahmen, Schutzmaßnahmen im Bereich von Tagesschächten und Schutzmaßnahmen im Bereich von Bebauung unterschieden werden.

Weiträumig wirksame Schutzmaßnahmen sind

- der Betrieb von Entgasungsleitungen in verfüllten Schächten,
- die Herstellung von Bohrungen in das Grubengebäude und
- die aktive Besaugung von Entgasungsleitungen oder Bohrungen.

Der Einbau von Entgasungsleitungen im Zuge der Schachtverfüllungen wird seit den späten 1980er Jahren in Einzelfällen und seit dem Jahr 2000 im Zusammenhang mit der Umsetzung der Entgasungskonzepte standardmäßig zum Zwecke der Prävention durchgeführt.

Die Besaugung von Entgasungsleitungen oder Bohrungen zur Gefahrenabwehr wurde bisher auf der Schachtanlage Unser Fritz 3 zur Vermeidung von Gaszuströmen in der Fahrtdrahtstrecke des Shamrockquerschlages des Bergwerkes Blumenthal, in Bochum-Langendreer sowie in Dortmund-Dorstfeld und Dortmund-Martens zur Besicherung von Wohn- und öffentlichen Gebäuden betrieben. In diesen Fällen erfolgten die Maßnahmen nach Feststellung von Schadensfällen, in denen lokale Maßnahmen nicht ausreichend waren. Gaszutritte traten dabei jeweils großflächig in mehreren Gebäuden auf. Die Besaugung stellt die aufwändigste Sicherungsmaßnahme dar und wird zusätzlich durch ein langfristiges Monitoring und ggf. Maßnahmen zum Objektschutz ergänzt.

Eine langfristige Verwertung des abgesaugten Grubengases ist dabei nur in Dortmund-Dorstfeld möglich gewesen, während in den anderen Fällen die abgesaugten Mengen bzw. die Gasqualität nicht ausreichten.

In Zukunft macht die Besaugung von Grubenbauen zum Zwecke der Gefahrenabwehr dort Sinn, wo unkontrollierte Gasaustritte großräumig und im Wesentlichen außerhalb von

verfüllten Schächten erfolgen oder erfolgen können. Dies gilt in erster Linie für dicht bebaute Bereiche mit eher tagesnahem Bergbau.

Bohrungen in das Grubengebäude sind dort sinnvoll, wo sich im Grubengebäude ein Überdruck aufbaut. Dies wird sich in der Regel zuerst durch eine Änderung des Ausgasungsverhaltens verfüllter Schächten zeigen. Solche Bohrungen sind dann vor allem für Grubenfelder sinnvoll, in denen keine Entgasungsleitungen vorhanden sind. Bohrungen können wie eine Entgasungsleitung zur passiven Entgasung oder aber zur aktiven Besaugung genutzt werden.

Schutzmaßnahmen im Bereich von Tagesschächten sind

- die Ausweisung von Schachtschutzbereichen,
- die Einhaltung von Mindestabständen von Schächten für neu zu errichtende Gebäude, Versorgungseinrichtungen und Verkehrswege,
- der Anschluss von Entgasungseinrichtungen an die Abdeckungen von mit Lockermassen verfüllten Schächten,
- die Fassung von Gasaustritten im Bereich von verfüllten Schächten durch Gasflächendrainagen und Bohrungen und
- das Ausbaggern von Tagesöffnungen und Verfüllen mit Beton sowie Einbau von Entgasungsleitungen bis zur Sicherheitstiefe.

Diese Maßnahmen werden standardmäßig im Zuge der Schachtverfüllungen und bei der Sanierung von mit Lockermassen verfüllten Schächten zum Zwecke der Prävention umgesetzt. Die Sicherungsmaßnahmen bei der Schachtsanierung umfassen in der Regel ein Ausbaggern des oberen Schachtabschnittes, die Unterbrechung von Strömungswegen und das Einbringen einer inneren Ausbaustärkung bzw. eines sogenannten kohäsiven Füllsäulenabschnittes aus Beton. Das Ausbaggern der Lockermassenfüllsäule erfolgt dabei bis unterhalb der Felsoberkante, im Fall von inneren Ausbaustärkungen bis zu 40 m Tiefe und im Fall von kohäsiven Füllsäulenabschnitten bis 70 m Tiefe. In Schadensfällen wurden diese Maßnahmen z.B. im Fall der Schächte Spülschacht Ottostraße und Beeckerwerth in Duisburg eingesetzt. Die Fassung von Gas über Gasdrainagen wurde z.B. an den verschiedenen ausgasenden Schächten im östlichen Ruhrgebiet umgesetzt. Sie sind in Zukunft entweder bei Schadensfällen oder

auch als präventive Maßnahme sinnvoll, wenn sich an mit Lockermassen verfüllten Schächten eine Änderung des Ausgasungsverhaltens (Entfallen des Unterdruckes oder Auftreten von CH₄) zeigt.

Schutzmaßnahmen im Bereich von Bebauung (Objektschutz) sind

- der Bau von Flächen- oder Vertikaldrainagen im Bereich von Gebäuden und versiegelten Flächen,
- die Abdichtung von Gebäuden und Versorgungseinrichtungen (Kanäle, Leitungen, Kanalschächte),
- Raumlüftüberwachung mit oder ohne technischer Lüftung und
- die Besaugung von objektbezogenen Flachbohrungen oder Drainagen.

Der Einbau von Flächen- oder Vertikaldrainagen und Abdichtungen wird standardmäßig bei Neubaumaßnahmen im Bereich von Schachtschutzbereichen und in den als ausgasungsgefährdet eingestuften Bereichen in den Städten Bochum und Dortmund präventiv umgesetzt.

Eine Umsetzung dieser Maßnahmen bei Bestandsbebauung, insbesondere bei dichter oder geschlossener Bebauung ist ungleich schwieriger, da ggf. in die Statik des Gebäudes eingegriffen wird oder der Zugang für Bohrungen oder Auskofferungen nicht oder nur eingeschränkt möglich ist. Hier kommt dann oft die Raumlüftüberwachung mit oder ohne technischer Lüftung zum Zuge. Bei Schadensfällen wurden die oben genannten Maßnahmen z.B. zur Ergänzung der großräumigen Besaugung in Bochum-Langendreer und Dortmund-Martens, in der Kettlersiedlung in Bergkamen, sowie in der Siedlung Bocksheide in Hamm umgesetzt. Diese Maßnahmen sind in Zukunft weiterhin bei Schadensfällen an einzelnen Objekten sinnvoll.

6 Aktuelle Ausgasungssituation und Ausbreitung der Unterdrücke

6.1 Methodik der Ermittlung der Differenzdrücke zwischen Atmosphäre und Grubengebäude

Die Differenzdrücke zwischen Atmosphäre und Grubengebäude wurden nur für die Ruhrlagerstätte betrachtet, da für die Ibbenbürener Lagerstätte aufgrund des teilweise noch offenen Grubengebäudes im Ostfeld und fehlender Entgasungsleitungen im Westfeld keine aussagekräftige Darstellung möglich ist.

Die an Entgasungsleitungen bzw. Grubengasgewinnungsbohrungen messbaren Differenzdrücke enthalten grundsätzlich einen technischen, durch die Grubengasgewinnung oder die Wetterführung verursachten statischen Druckanteil und einen barometrisch bedingten, durch Luftdruckschwankungen verursachten Druckanteil. Die an Standorten der Grubengasgewinnung zwischen Atmosphäre und Saugleitungen gemessenen Druckdifferenzen sind grundsätzlich höher als die Druckdifferenz zwischen Atmosphäre und Grubengebäude. Dies ist dadurch begründet, dass der Saugdruck auch die strömungsbedingten Druckverluste aus der Entgasungsleitung und der Anschlüsse an das Grubengebäude beinhaltet.

Um die tatsächlichen Differenzdrücke zwischen Atmosphäre und Grubengebäude zu ermitteln, wurde ein zweistufiges Verfahren gewählt. Im ersten Schritt wurden über die Auswertung von Langzeitbeobachtungen zum Stichtag 31.12.2018 die an den einzelnen Messstellen gemessenen Differenzdrücke nach statistischen Methoden ermittelt [1, 2, 3, 4, 5]. In einem zweiten Schritt wurden die an den Verdichtern vorliegenden Unterdrücke um die strömungsmechanisch bedingten Differenzdruckanteile aus den Entgasungsleitungen bzw. Bohrungen bereinigt, um so Rückschlüsse auf den tatsächlich im Grubengebäude anliegenden Unterdruck zu ermöglichen. Entgasungsleitungen sind in der Regel strömungstechnisch nicht homogen, da sie ggf. über die Teufe verschiedene Durchmesser und Versprünge aufweisen und in verschiedenen Niveaus an Grubenbaue angeschlossen sind. Da sich die strömungsbedingten Druckverluste daher nicht genau ermitteln lassen, wurden jeweils vereinfachend die gesamte Länge und der überwiegende Durchmesser der Entgasungsleitung den Berechnungen zugrunde gelegt [6, 7, 19].

Soweit Förderströme nicht messtechnisch erfasst wurden, wurde der Gasgemischstrom aus der Stromproduktion und dem Methangehalt zurückgerechnet. Kalibriert wurden diese rechnerischen Werte mit Messwerten an benachbarten, mit Entgasungsleitung in das Grubengebäude ausgestatteten Schächten [30].

6.2 Verteilung der Differenzdrücke zwischen Atmosphäre und Grubengebäude

Die durch die Grubengasgewinnung auf die Lagerstätte aufgeprägten Unterdrücke entwickeln sich von den Gewinnungsstandorten ausgehend bis in die weiter entfernten Bereiche der besaugten Grubenfelder. Aufgrund der Strömungswiderstände in der Lagerstätte nehmen die Unterdrücke zur Peripherie der Grubengebäude hin ab. In Abhängigkeit des Teufenbereichs in dem das Grubengebäude aufgeschlossen ist, können die Unterdrücke auch in vertikaler Richtung abnehmen. Entsprechend sind die Unterdrücke innerhalb eines stillgelegten Grubengebäudes nicht auf einem gleichen Niveau. Vielmehr ergibt sich eine eher komplexe Verteilung der Unterdrücke. Die Abbildung 1 im Anhang zeigt die derzeitige Verteilung der Unterdrücke, wobei für größere Bereiche die maximalen Unterdrücke, d.h. die Unterdrücke in unmittelbarer Nähe der Gewinnungsstandorte dargestellt sind. Für die Gasprovinzen, in denen keine Entgasungsleitungen bzw. Grubengasgewinnungsbohrungen vorhanden sind und somit keine Unterdrücke gemessen werden können, sind entsprechend keine Werte angegeben.

Ein großer Teil der Lagerstätte ist durch die Grubengasabsaugung beeinflusst und die betrachteten Schächte weisen Unterdrücke auf. Ausgenommen hiervon sind im Wesentlichen der südliche Teil der Lagerstätte mit weiten Teilen des Stadtgebietes Duisburg, dem Süden des Stadtgebietes Oberhausen, dem Stadtgebiet Mülheim an der Ruhr, dem Westen und Süden des Stadtgebietes Essen, dem Süden der Stadtgebiete Bochum, weiten Teilen des südlichen Stadtgebietes von Dortmund sowie dem Bereich südlich der Ruhr. Schächte im Bereich der ehemaligen Bergwerke Fürst Leopold, Auguste Victoria sowie der Baufelder Haltern und Haardt weisen ebenfalls Überdrücke auf. Hier erfolgt aufgrund der 2019 noch durchgeführten Schachtverfüllungen bzw. aufgrund nicht erfolgreicher Absaugversuche derzeit keine Grubengasgewinnung. Die Schächte des Bergwerkes Prosper-Haniel sind im Zeitraum der Erarbeitung des vorliegenden Gutachtens noch offen und die angeschlossenen Grubenbaue stehen nur unter Einwirkung des von den Hauptgrubenlüftern aufgeprägten Unterdruckes.

Weiterhin ist festzustellen, dass es offensichtlich neben der lateralen auch eine vertikale Trennung von durch die Grubengasgewinnung beeinflussten Bereichen gibt. So ist z.B. in der Emschermulde das Ausgasungsverhalten der oberen Grubenbaue des ehemaligen Bergwerkes Graf Bismarck und von dem der unterhalb liegenden Grubenbaue der Bergwerke Hugo, Ewald und Consolidation zumindest hinsichtlich des Differenzdruckverhaltens zu trennen.

Die Unterdrücke im Grubengebäude, jeweils bezogen auf den Anschluss der Entgasungsleitung oder Gewinnungsbohrung an das Grubengebäude, liegen in weiten Bereichen unter -30 hPa und damit sicher außerhalb des Einflusses von Luftdruckschwankungen. Besonders hohe Unterdrücke von mehr als -500 hPa liegen im Bereich der ehemaligen Bergwerke Niederberg, Ewald Fortsetzung, Emscher-Lippe, Minister Stein, Preußen und Ost an. Eine sehr weiträumige Beeinflussung durch die Grubengasgewinnung findet im Bereich der Emschermulde statt, wo sich Unterdrücke im Westen und Süden mindestens bis zu den Bergwerken Zweckel, Graf Moltke, Mathias Stinnes, Zollverein und Shamrock ausbreiten.

6.3 Methangehalte des abgasaugten Grubengases

Die Methangehalte des derzeit abgasaugten und verwerteten Grubengases sind sehr unterschiedlich und liegen zwischen etwa 15 und 80 Vol.-% [1, 2, 3, 4, 5]. Die untere Grenze ergibt sich aus der derzeit wirtschaftlich einsetzbaren Verwertungstechnologie und an einigen Standorten aus den explosionsschutztechnisch bedingten Grenzwerten für den Methan- und Sauerstoffgehalt.

Die Abbildung 2 im Anhang zeigt die Methangehalte an den betriebenen Grubengasgewinnungsanlagen und an ausziehenden Entgasungsleitungen, die an das Grubengebäude angeschlossen sind. Dabei wurden jeweils mittlere Werte bzw. die Spanne der Methangehalte für größere Bereiche gebildet.

Es zeigt sich, dass die Methangehalte in durch Grubenwasser abgeschlossenen oder weitgehend abgeschlossenen Bereichen sowie Bereichen mit ausschließlich kohäsiv verfüllten Schächten (z.B. Bergwerke Niederberg, Ewald Fortsetzung, Emscher-Lippe, Preußen und Radbod) deutlich höher liegen als in weiträumig miteinander verbundenen Grubenfeldern, die auch eine größere Anzahl von mit Lockermassen verfüllten Schächten oder ein weniger mächtiges Deckgebirge aufweisen (z.B. Emschermulde, Bergwerk

Lothringen) bzw. in Bereichen, die an im Zeitraum der Auswertung noch offene Grubenbaue anschließen (z.B. Bergwerke Lohberg und Monopol). An vielen Standorten ist der Methangehalt dabei seit Inbetriebnahme der Grubengasgewinnung ständig zurückgegangen.

6.4 Entwicklung der Ausgasung an verfüllten Tagesschächten

Der Einfluss der Grubengasgewinnung lässt sich auch an der Entwicklung der Methangehalte erkennen, die regelmäßig an mit Lockermassen verfüllten Schächten gemessen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese in der Regel nicht mit den im Grubengebäude vorliegenden Methangehalten übereinstimmen, da ein barometrisch bedingter Austausch von Gas mit der Atmosphäre innerhalb der Füllsäule erfolgt.

Um einen Überblick über das zeitliche aber auch räumliche Ausgasungsverhalten von verfüllten Schächten im Ruhrrevier zu bekommen, wurden mehrere über die Lagerstätte verteilte Schachtstandorte hinsichtlich der Gaskomponenten Methan, Kohlendioxid und - falls vorhanden - Sauerstoff untersucht. Grundlage hierfür sind die von der RAG Montan Immobilien GmbH beigestellten Messwerte [25]. Ergänzt wurden diese durch Messungen der DMT [30, 31]. Bei den betrachteten Schächten handelt es sich vornehmlich um mit Lockermassen verfüllte Schächte. Ein Teil dieser Schächte ist mit Entgasungseinrichtungen ausgestattet. Die Schachtköpfe dieser Schächte sind teilweise im Rahmen des Risikomanagements nachträglich nach dem Stand der Technik gesichert worden. Grundsätzlich gilt, dass nach der Sicherung der Schächte durch die Reduzierung von Luftkurzschlüssen die Qualität der Messwerte stieg.

Bezüglich der Qualität der an solchen Entgasungseinrichtungen gewonnenen Messwerte ist anzumerken, dass sie in der Regel die Gaszusammensetzung unter der Schachtabdeckung und die Druckdifferenz, die an der Schachtabdeckung anliegt, repräsentieren. Zwischen dem Hohlraum unmittelbar unter der Schachtabdeckung und dem Grubengebäude befindet sich die Lockermassenfüllsäule, die einerseits einen Strömungswiderstand darstellt und andererseits als Gasspeicher wirkt, der ein Gemisch aus Grubengas und einziehender Luft enthält. Da die RAG Montan Immobilien GmbH die Druckdifferenzen nicht misst, sondern nur angibt, ob ein Über- oder Unterdruck vorliegt, ist aus den Messwerten nicht ableitbar, ob es sich um technische aufgeprägte Unterdrücke oder um barometrisch bedingte Unterdrücke handelt. Dies wurde, soweit möglich, durch Messungen der DMT in der Auswertung ergänzt.

Nachfolgend soll der Effekt der Grubengasgewinnung auf Gasaustritte an verfüllten Schächten anhand von einigen Beispielen aufgezeigt werden.

Die Auswirkungen der Grubengasgewinnung zeigen sich deutlich im Fall der Besaugung eines Bohrloches in Duisburg. Die an Schächten im weiteren Umfeld der Grubengasgewinnungsanlage gewonnenen Messwerte zeigen, dass bis 2010 erhöhte Methan- und Kohlendioxidgehalte unter den Schachtabdeckungen anstanden. Abbildung 3 im Anhang zeigt am Beispiel von vier Schächten die Maximalkonzentrationen für die Gasbestandteile Methan und Kohlendioxid sowie die Minimalkonzentrationen für den Gasbestandteil Sauerstoff, die in den betreffenden Jahren festgestellt wurden. Dabei ist anzumerken, dass die Messung des Sauerstoffgehaltes erst ab 2010 mit aufgenommen wurde. Weiterhin ist in den Darstellungen zu erkennen, ob der Schacht einen Über- oder Unterdruck aufwies. Mit Aufnahme der Grubengasgewinnung ging die Ausgasung innerhalb von kurzer Zeit zurück. Solch ein Effekt könnte generell auch mit der Überstauung stärker methanführender Flöze zusammenhängen. Gleichzeitig vorhandene hohe Sauerstoffgehalte zeigen jedoch, dass offensichtlich Luft in die Schächte einzieht und somit tatsächlich ein Unterdruck am Grubengebäude anliegt.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei Schächten im Umfeld der Emschermulde. Abbildung 4 im Anhang zeigt die Entwicklung der Gaszusammensetzung an vier Schächten in Essener Norden. Da Bergwerke in verschiedenen Konstellationen im Verbund betrieben wurden, bestehen von diesen Schächten aus Streckenverbindungen zum Bergwerk Hugo, in dessen Grubenfeld an mehreren Standorten Grubengas gewonnen wird. Die ansteigenden Methangehalte fallen in den Zeitraum, in dem sich der Bergbau aus Teilen der Emschermulde zurückzog (Stilllegung der Baufelder Nordstern und Consolidation). Sie lassen sich mit dem Entfallen der von den Hauptgrubenlüftern an die genannten Baufelder angelegten Unterdrücke erklären. Der Rückgang der Methangehalte erfolgte ab 2001 unmittelbar nach Beginn der Grubengasgewinnung in den Baufeldern Hugo und Consolidation. Die Methangehalte gingen zurück und seit 2010 konnte kein Methan mehr nachgewiesen werden. Dies spiegelt die sukzessive Ausweitung des Unterdruckes in den das Bergwerk Hugo umgebenden Grubenfeldern wieder.

Abbildung 5 im Anhang zeigt eine ähnliche Entwicklung für zwei Schächte in Essen-Frillendorf und -Kray weit südlich des Bergwerkes Hugo. Auch hier sind aufgrund der räumlichen Entfernung Verzögerungen zur Aufnahme der Grubengasgewinnung in der Emschermulde zu erkennen. Im ersten Beispiel kann erst sechs Jahre nach dem Beginn

der Grubengasabsaugung ein Unterdruck festgestellt werden und die Methan- und Kohlendioxidgehalte gehen erst vier weitere Jahre später zurück. Im zweiten Beispiel gehen dagegen die Methan- und Kohlendioxidgehalte mit dem Beginn der Grubengasgewinnung in der Emschermulde über einen Zeitraum von rund zehn Jahren zurück, wobei erst ab 2017 ein Unterdruck festgestellt werden kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich der im Grubengebäude anstehende Unterdruck erst seit der Sanierung des Schachtkopfes und der damit einhergehenden Abdichtung bis unter die Schachtabdeckung fortpflanzt.

7 Grubengasprovinzen

Eine Grubengasprovinz im Sinne des vorliegenden Gutachtens ist ein zusammenhängender Teil der durch den Bergbau beeinflussten Steinkohlenlagerstätte, der bezüglich der Grubengasgewinnung und der Ausgasung an der Tagesoberfläche vergleichbare Verhältnisse aufweist bzw. strömungstechnisch zusammenhängt. Die Abgrenzung erfolgte in diesem Rahmen im Wesentlichen entlang der Grenzen der Grubenfelder.

Strömungswege werden in erster Linie durch das Hauptstreckennetz gebildet, welches in der Regel alle Grubenbaue innerhalb eines Grubenfeldes an die Schächte anbindet. Dazu gehören auch die Verbindungsstrecken, die im Rahmen der Zusammenlegung von Bergwerken als Verbindungen zwischen einzelnen Grubenfeldern hergestellt worden sind. Die einzelnen Hauptstrecken weisen den geringsten Strömungswiderstand auf. Da es sich um langlebige Grubenbaue handelt, ist die Wahrscheinlichkeit am größten, dass sie als Strömungsweg noch wirksam sind. Unterbrechungen können sich jedoch durch Überstauung, Streckenbrüche oder wasser- und damit auch weitgehend gasdichte Abschlüsse (sogenannte Wassersperrdämme) ergeben. Die üblicherweise sukzessiv mit dem Abwerfen von Grubenbauen erstellten explosionsfesten Dämme sind in den meisten Fällen nicht als gasdicht einzustufen und stellen keine Unterbrechung des Strömungsweges dar.

In zweiter Linie bestehen Strömungswege zwischen einzelnen Grubenfeldern über angrenzende Abbaue, Abbauannäherungen, Wasserlösungsbohrungen und tektonische Störungen. Diese weisen im Einzelnen höhere Strömungswiderstände auf. Im Falle von mehreren parallelen Strömungswegen dieser Art verringert sich jedoch der gesamte Strömungswiderstand.

Die Zuordnung von Grubenfeldern zu den Grubengasprovinzen orientiert sich in erster Linie an Verbindungen des untertägigen Hauptstreckennetzes, der Verteilung der Differenzdrücke und der Methangehalte des abgesaugten Grubengases. Andere Verbindungen werden als Gaswegigkeiten nur dann in die Betrachtungen einbezogen, sofern sie auf Basis der Unterdruckverteilung strömungsmechanisch eindeutig nachgewiesen sind [1, 2, 3, 4, 5, 30].

Prägend für die Einteilung der Lagerstätte in die Gestalt von Gas- bzw. Wasserprovinzen sind die untertägigen Hauptstreckennetze der ehemaligen Bergwerke. Es ist aber hervorzuheben, dass eine Einteilung der Lagerstätte in Grubengasprovinzen deutliche Unterschiede zu einer Einteilung in Wasserprovinzen aufweist. Gase können nur an den von Grubenwasser nicht überstauten Verbindungen zwischen Grubenfeldern übertreten. Außerdem ergeben sich Gasströmungen nicht, wie im Falle des Grubenwassers, aus einem hydrostatischen Druckgefälle mit über weiten Bereichen gleich großen hydrostatischen Drücken. Vielmehr ergibt sich durch die Kombination aus den Methanzuströmen aus der Lagerstätte, barometrisch bedingten Einflüssen und technisch, durch Grubengasabsaugung und Bewetterung bedingten Druckänderungen sowie untergeordnet der Kompression durch Wasseranstiege eine komplexe Verteilung der Drücke innerhalb der stillgelegten Grubenfelder.

Aufgrund der Methanzuströme aus der Lagerstätte sind theoretisch sehr hohe Drücke denkbar. Der Gasdruck unverritzter, gasreicher Kohle beträgt bis zu über 4 MPa. Tatsächlich sind deutlich geringere Drücke im Bereich des Ruhrreviers und des Bergwerkes Ibbenbüren zu erwarten, da die Grubengebäude entweder planmäßig passiv entgast oder besaugt werden oder aber Grubengas eigenständig über mit Lockermassen verfüllte Schächte oder andere Strömungswege an die Tagesoberfläche entweicht. Die Drücke sind heute im Wesentlichen durch die Gasabsaugung beeinflusst. Die dadurch erzeugten Unterdrücke fallen von den Förderstandorten zu ihrer Peripherie hin ab. Großflächig gleiche statische Drücke wie im Falle des Grubenwassers sind daher nicht vorhanden. Durch die dezentrale Gasabsaugung und die zahlreichen direkten Verbindungen (Hauptstrecken) und indirekten Verbindungen (angrenzende Abbaue Abbauannäherungen, Wasserlösungsbohrungen, tektonische Störungen etc.) ergeben sich Wechselwirkungen und Überschneidungen der Einflüsse der Gasabsaugung. Eine eindeutige Abgrenzung wie im Falle der Wasserprovinzen ist so in der Regel nicht möglich.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich eine Einteilung in 24 Grubengasprovinzen im Bereich des Ruhrreviers (Abbildung 6 im Anhang) und 2 Grubengasprovinzen im Bereich der Ibbenbürener Lagerstätte. In Tabelle 1 im Anhang sind Kenndaten der Grubengasprovinzen zusammengefasst.

Die Anzahl der Grubengasprovinzen im Ruhrrevier wird sich infolge des Grubenwasseranstieges auf 34 erhöhen (Abbildung 7 im Anhang). Die Abgrenzung der Grubengasprovinzen bildet die Grundlage für die Identifizierung von Bereichen, in denen eine Änderung der Ausgasungssituation infolge des Wasseranstieges zu erwarten ist.

8 Abgrenzung potentiell gefährdeter Bereiche

Auf der Basis der aktuellen Druckverteilung in den Grubenbauen und der Situation in den einzelnen Gasprovinzen wurden Grubenfelder eruiert, in denen sich im Falle der Aufgabe oder der starken Reduzierung der Grubengasgewinnung Änderungen der Ausgasungssituation ergeben können. Detaillierte Betrachtungen zu ggf. hiermit verbundenen örtlichen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche werden vorliegend nicht angestellt. Hierzu bedarf es aufwendiger, detaillierender Einzeluntersuchungen.

Es sind folgende Bereiche zu unterscheiden:

- Grubenfelder, für die ein Entgasungskonzept besteht und aus denen über Entgasungsleitungen Grubengas ausreichend abgeführt werden kann [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18],
- Grubenfelder, in denen einzelne Entgasungsleitungen vorhanden sind und aus denen Grubengas weitgehend abgeführt werden kann [19],
- Grubenfelder, die für die Grubengasgewinnung über Entgasungs- oder Grubengasförderleitungen oder Grubengasgewinnungsbohrungen aufgeschlossen sind und direkt besaugt werden bzw. erwiesenermaßen indirekt mitbesaugt werden [1, 2, 3, 4, 5, 30],
- Grubenfelder, die wahrscheinlich durch die Grubengasgewinnung beeinflusst sind [25, 26, 27, 28, 29, 30],
- Grubenfelder, die wahrscheinlich nicht durch die Grubengasgewinnung beeinflusst sind [25, 26, 27, 28, 29, 30] und

- Grubenfelder, die weitgehend überstaut sind und somit kein Grubengas mehr freisetzen [42].

Die Abbildung 8 im Anhang zeigt die derzeitige Ausbreitung dieser Bereiche. Die Abbildung 9 zeigt die Ausgasungssituation, die nach dem vorgesehenen Wasseranstieg zu erwarten ist.

Die Bergwerke Westfalen, Waltrop und Teile der Bergwerke Minister Achenbach und Haardt sind bereits überstaut. Sie werden bei den folgenden Betrachtungen nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Für die Bergwerke Niederberg, West, Walsum, Lohberg-Osterfeld, Prosper-Haniel, Lippe, Auguste Victoria, Ewald/Hugo, Blumenthal, Ost, Westfalen und Ibbenbüren bestehen Entgasungskonzepte. Im Fall der in 2018 stillgelegten Bergwerke Prosper-Haniel und Ibbenbüren befinden sich die entsprechenden Maßnahmen in der Umsetzung. Weiterhin sind im Zuge der Stilllegung der Bergwerke bzw. Baufelder Rheinland, Osterfeld, Consolidation / Nordstern, Schlägel & Eisen, Recklinghausen, Haardt, Minister Achenbach, Minister Stein, Gneisenau und Haus Aden Entgasungsleitungen hergerichtet worden. Weiterhin wurden im Zuge der Verfüllung der Schächte Prosper 8, Zollverein 1 und 11 und Hansa 3 Entgasungsleitungen hergerichtet. Die Tabelle 2 im Anhang zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Entgasungsleitungen.

Die Entgasungsleitungen ermöglichen eine passive Entgasung des Grubengebäudes, wobei die Gasabführung im Wesentlichen durch die barometrischen Luftdruckschwankungen ermöglicht wird. Bei fallendem bzw. tiefem Luftdruck wird Grubengas abgeführt, während die Leitung bei steigendem bzw. hohem Luftdruck durch eine Rückschlagklappe verschlossen wird, um einen Lufteintrag zu vermeiden. Im Falle einer Beendigung oder Reduzierung der Grubengasgewinnung sind unkontrollierte Gasaustritte an der Tagesoberfläche im Bereich der planmäßig entgasten Grubenfelder unwahrscheinlich. Sie sind dort nicht auszuschließen, wo keine ausreichenden Gaswegigkeiten zwischen den einzelnen Grubenbauen und der Entgasungsleitung z.B. durch Brüche oder Überstauung gegeben sind oder aber die Anschlüsse der Entgasungsleitung an das Grubengebäude überstaut sind. In diesen Bereichen sind Gasaustritte aber im Wesentlichen im Bereich der ehemaligen Tagesöffnungen zu erwarten.

In den Grubenfeldern, die von der Grubengasgewinnung beeinflusst sind und in denen keine Entgasungsleitungen vorhanden sind, sind Auswirkungen auf Gasaustritte bei einer Beendigung oder deutlichen Reduzierung der Grubengasgewinnung oder einer Überstauung von Strömungswegen im Zuge des Grubenwasseranstieges zu erwarten.

Dies betrifft Bereiche,

- die derzeit unter Unterdruck stehen und nicht planmäßig entgast werden,
- die mit unter Unterdruck stehenden Grubenfeldern verbunden sind und nicht planmäßig entgast werden oder
- die vor Beginn der Grubengasgewinnung auffällig waren.

Hier wiederum sind unkontrollierte Gasaustritte dort möglich, wo Strömungswege zwischen Grubengebäude und Tagesoberfläche bestehen. Als solche Strömungswege kommen in Frage:

- verfüllte Schächte und andere Tagesöffnungen,
- tagesnahe Grubenbaue in Verbindung mit durchlässiger Überdeckung,
- tektonische Störungszonen, die sich bis zur Tagesoberfläche fortsetzen,
- durchlässiges (Deck-)Gebirge.

Gasaustritte aus verfüllten Schächten sind zunächst lokal, im Bereich der Füllsäulenoberfläche und im unmittelbaren Umfeld des Schachtes (dem ausgasungstechnischen Schachtschutzbereich) zu erwarten. Mit Lockermassen verfüllte Schächte weisen meist eine höhere Permeabilität als das umgebende Gebirge auf und sind damit bevorzugte Strömungswege für Grubengas. Weiterhin können im Falle eines Absackens oder Auslaufens der Füllsäule unkontrollierte Gasaustritte mit hohen Volumenströmen auftreten. In kohäsiv verfüllten Schächten sind hohe Volumenströme aufgrund der geringeren Permeabilität weniger wahrscheinlich, aber nicht vollständig auszuschließen. Bei verfüllten Tagesschächten ist eine Gefährdung der Tagesoberfläche durch austretendes Grubengas auszuschließen, wenn geeignete Maßnahmen zur Gasabführung und eine entsprechende Behandlung der Schachtköpfe (z.B. durch die Unterbrechung von Strömungswegen) durchgeführt wurden und die ausgewiesenen ausgasungstechnischen Schachtschutzbereiche im Zuge einer Nachnutzung

berücksichtigt werden. Ist dies nicht der Fall, kann es zu einer weiträumigen Verschleppung des Grubengases führen. Dies ist z.B. bei dem Absacken der Füllsäule des Schachtes Lothringen 3 geschehen, wobei Grubengas in umliegende Gebäude und die Kanalisation eindrang.

Gasaustritte im Bereich von tektonischen Störungen oder über das Gebirge sind räumlich schwieriger einzugrenzen, da sich die Strömungswege in der Regel nicht lokalisieren lassen. In solchen Fällen sind entsprechend – wie in der Vergangenheit und auch heute weiträumig wirksame Schutzmaßnahmen notwendig, wie im Fall der Schutzgasabsaugungen in Bochum und Dortmund.

Die Effekte, die sich aus Bergwerksstilllegungen, Grubenwasseranstieg sowie Einstellung oder Reduzierung der Gasabsaugung ergeben können, wurden analysiert. Es wurden in diesem Zusammenhang die o.g. Bereiche des Grubengebäudes identifiziert, in denen bedingt durch den Grubenwasseranstieg der Unterdruck der Gasabsaugung möglicherweise nicht mehr wirksam sein wird und sich damit die Gefährdungspotentiale für die Tagesoberfläche verändern können. Hier besteht Bedarf für ein zielgerichtetes Monitoring und die Festlegung ggf. erforderlicher Schutzmaßnahmen.

Hier ist zu unterscheiden, dass sich durch den Grubenwasseranstieg

- einerseits unabhängig von der Beeinflussung durch die Grubengasgewinnung Änderungen der Ausgasungssituation ergeben können (Überstauung von Strömungswegen zwischen ausgasenden Lagerstättenteilen und Entgasungsleitungen, vertikale und laterale Verdrängung methanreicher Gasgemische durch den Wasseranstieg, Überstauung gasführender Flöze) und
- andererseits abhängig von der Beeinflussung durch die Grubengasgewinnung Änderungen der Ausgasungssituation ergeben können (Rückgang der unter Unterdruck stehenden Bereiche bzw. Entfall der zu den Grubengasgewinnungsanlagen gerichteten Strömung durch Überstauung von untertägigen Verbindungen, Reduzierung oder vollständiger Entfall des Unterdruckes bei Reduzierung oder Aufgabe der Grubengasgewinnung an einzelnen Standorten).

Während die erste Fallkonstellation für alle Grubengasprovinzen relevant ist, in welchen das Grubenwasser ansteigen soll, sollte die zweitgenannte Fallkonstellation in den

Grubengasprovinzen untersucht werden, in denen sich die Beeinflussung der Grubengasgewinnung voraussichtlich ändern wird und gleichzeitig keine Entgasungskonzepte vorliegen. Dies sind im Wesentlichen die Grubengasprovinzen Hamborn, Mitte II, Mitte III, Bochum, Herne / Castrop / Bochum, Germania und Dortmund.

Es handelt sich hierbei um Grubenfelder in den Städten Bochum, Castrop-Rauxel, Dortmund, Duisburg, Essen, Gelsenkirchen, Herne, Herten, Lünen, Marl und Oer-Erkenschwick.

9 Gewinn- und verwertbare Grubengasströme

9.1 Methodik der Prognose

Die prognostizierten gewinn- und verwertbaren Methanvolumina wurden in verschiedene Kategorien unterteilt, um auf dieser Basis später eine Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten zu ermöglichen, welche die unterschiedlichen Produktionsbedingungen berücksichtigt.

Bezüglich der Grubengasgewinnung ist der benötigte Saugdruck kostenrelevant. Steigender Saugdruck erfordert eine höhere Verdichterleistung und bringt somit höhere Energiekosten mit sich. Unterschieden wurden 4 Kategorien: 0 bis -200 hPa, -200 bis -400 hPa, -400 bis -600 hPa und -600 hPa bis -800 hPa. Anzumerken ist hierzu, dass bisher nur an einem Standort im Ruhrrevier ein Unterdruck von ca. -850 hPa angelegt wird, der das derzeit nachweisbar erreichbare Minimum des Saugdruckes darstellt. Auch international sind bisher keine höheren Unterdrücke bei der Grubengasgewinnung bekannt.

Bei der nachgeschalteten Gasverwertung ist im Wesentlichen der Methangehalt des zur Verfügung stehenden Gasgemisches kostenrelevant. Der für den Betrieb der Gasmotoren benötigte minimale Methangehalt ist geringfügig variabel und hängt zusätzlich vom Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffgehalt des Gasgemisches ab. Vereinfachend wurde angenommen, dass der Betrieb von Gasmotoren bis zu einem Methangehalt von mindestens 20 Vol.-% konventionell, d.h. ohne zusätzliche Techniken wie zum Beispiel Sauerstoffeinspeisung möglich ist. Bei Methangehalten zwischen etwa 15 und 20 Vol.-% ist der Betrieb von Gasmotoren unter Zumischung von reinem Sauerstoff möglich. Dies zeigt sich in der derzeitigen betrieblichen Praxis. Die Verwertung von Gasgemischen mit

Methangehalten unter 15 Vol.-% erfordert entweder die Zumischung von Erdgas oder alternative Verwertungstechniken und wird derzeit nicht angewandt.

Technisch sind für die Verwertung solch niedriger Methangehalte im Grubengas grundsätzlich verschiedene Techniken möglich, wie zum Beispiel thermische oder katalytische Oxidation oder Gasaufbereitung mit anschließender Verwertung durch Gasmotoren.

Für die Verwertung von Grubengas aus betriebenen Bergwerken in Australien, China und den USA sowie einem stillgelegten Bergwerk in den USA wurde bereits die thermische Oxidation technisch erfolgreich eingesetzt. Dabei ist eine Verwertung von Gasgemischen mit einem Methangehalt von bis zu 0,3 Vol.-% technisch möglich. Aufgrund der hohen Kosten hat sich das Verfahren jedoch noch nicht etablieren können.

Die Prognose der verwertbaren Methanvolumina erfolgte im Wesentlichen durch eine Hochrechnung der derzeit geförderten Methanvolumenströme. Dazu wurde die Entwicklung der Methangehalte und der Saugdrücke aus den Produktionsdaten für die einzelnen Standorte herangezogen und jeweils bis zum Jahr 2035 extrapoliert (Abbildung 1 im Text) [1, 2, 3, 4, 5]. Bei den meisten Standorten sind fallende Methangehalte und steigende Saugdrücke zu beobachten, in denen sich u.a. das Abklingen der desorbierten Methanströme, das wasseranstiegsbedingte Überstauen von gasführenden Schichten und das Abnehmen des Hohlraumvolumens sowie der Zustrom von Luft und methanarmer Gasgemische widerspiegeln. Für die Extrapolation wurden primär die Zeiträume berücksichtigt, in denen stabile Trends vorlagen. Das Beispiel in Abbildung 1 (im Text) zeigt z.B. Schwankungen des Methangehaltes in den Jahren 2006 bis 2011, wie sie sich aus unterschiedlichen Förderraten oder dem Eintrag von Luft ergeben können. Solche temporären Effekte wurden nicht berücksichtigt, wenn an den entsprechenden Standorten Phasen mit stabiler Produktion und entsprechend stabilen Trends vorlagen.

Auf Basis der Extrapolation wurde abgeschätzt, wann die oben genannten Schwellenwerte für den Saugdruck bzw. den Methangehalt an jedem Standort bei gleichermaßen fortgeführter Produktion erreicht werden und wie lange Gas unter den entsprechenden Bedingungen gefördert werden kann. In dem in Abbildung 1 (im Text) gezeigten Beispiel kann von Januar 2019 bis Dezember 2026 (also über 8 Jahre) mit einem Saugdruck zwischen -600 hPa und -800 hPa produziert werden. Von Januar 2019 bis November 2020 (über 23 Monate) kann ein Gasgemisch mit einem Methangehalt von

> 20 Vol.-% gefördert werden, von Dezember 2020 bis Dezember 2024 (über 49 Monate) kann ein Gasgemisch mit einem Methangehalt von 15 - 20 Vol.-% gefördert werden.

Weiterhin wurden Kriterien definiert, bei denen die Grubengasproduktion nicht mehr möglich ist. Dies sind:

- die Überstauung des Anschlusses der zur Gasförderung genutzten Schachtleitung bzw. Bohrung an das Grubengebäude im Zuge des geplanten Wasseranstieges [6, 7, 19] und
- die Überstauung der gasführenden Flöze im Zuge des geplanten Wasseranstieges [40, 41].

Es wurde angenommen, dass die derzeitige Produktion weiterhin auf gleichem Niveau erfolgen kann, bis eines der o.g. Abbruchkriterien erreicht wird. Dazu wurde die aktuelle Prognose des Grubenwasseranstieges der RAG Aktiengesellschaft herangezogen [41]. Die derzeitige Produktion in Bezug auf Reinmethan wurde auf Basis der Stromproduktion errechnet. Dabei wurde entweder ein Heizwert für Methan von 9,97 kWh/m³ und ein elektrischer Wirkungsgrad eines Gasmotors von 0,36 oder aber entsprechende Angaben des jeweiligen Betreibers zugrunde gelegt.

In dem in Abbildung 1 gezeigten Beispiel wird in 2024 der höchstgelegene Anschluss der besaugten Entgasungsleitung an das Grubengebäude (6. Sohle) überstaut. Somit wird unabhängig vom Saugdruck und dem Methangehalt die Produktion an diesem Standort in 2024 enden.

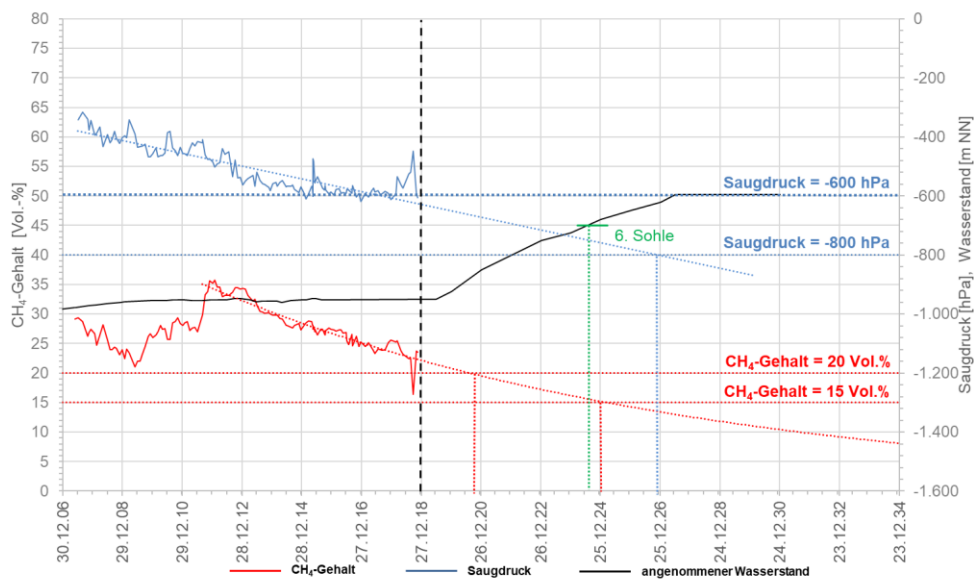


Abbildung 1: Prognose der CH₄-Gehalte und Unterdrücke (Beispiel)

Weiterhin wurde angenommen, dass unterhalb eines Saugdruckes von -800 hPa die Produktion reduziert werden muss, um ein Gleichgewicht zwischen Desorption und Produktion zu erreichen und so ein weiteres Ansteigen des Saugdruckes zu verhindern. Dazu wurde angenommen, dass die Produktion ab Erreichen eines Unterdruckes von -800 hPa halbiert wird und dabei der Saugdruck nicht weiter steigt.

Bei gleichbleibender Produktion und gleichzeitigem Rückgang des Desorptionsstromes erfolgt ein Ansteigen des Unterdruckes und durch Zustrom von Luft und methanarmen Gasmischen ein Abfallen des Methangehaltes. Da diese Entwicklungen die derzeitige betriebliche Praxis widerspiegeln, wurde der Rückgang des Desorptionsstromes nicht in Form von zurückgehender Produktion, sondern als Veränderung der Produktionsbedingungen berücksichtigt.

Die derzeitig produzierten Methanvolumina wurden entsprechend für den Zeitraum 2019 bis 2035 monatlich aufsummiert. Somit können die Methanvolumina errechnet werden, die bis zum Erreichen der Abbruchkriterien unter den jeweiligen Produktionsbedingungen gewonnen werden können.

Eine weitere Unterteilung der Methanvolumina erfolgte auf Basis der Anlagengröße. Es wurde eine Unterteilung in die Kategorien < 1 MW, 1 bis 2 MW, 2 - 3 MW, 3 - 4 MW, 4 -

5 MW und > 5 MW, jeweils bezogen auf die elektrische Leistung, vorgenommen. Die Unterteilung erfolgte auf Basis der derzeit je Standort abgesaugten Gasströme. Eine Verkleinerung der Anlagengröße aufgrund der Abspaltung von Grubengasprovinzen im Zuge des Wasseranstieges ist hier noch nicht berücksichtigt.

Für die zuletzt stillgelegten Bergwerke Prosper-Haniel, Auguste Victoria und Ibbenbüren sowie den Wasserhaltungsstandort Haus Aden liegen keine Produktionsdaten der Gasverwertung vor, da noch keine Grubengasgewinnung durch eine Besaugung des stillgelegten Grubengebäudes stattfindet. Neben den Methanvolumina, die durch von der RAG betriebene Gasabsaugungen auf den Bergwerken Prosper-Haniel und Ibbenbüren gefördert werden, sind die derzeit mit dem Wetterstrom abgeführten Methanvolumina zu berücksichtigen. Hier wurden die im Rahmen der jeweiligen Entgasungskonzepte sowie Rückzugsplanungen prognostizierten Methanströme herangezogen, die auf Langzeitauswertungen der tatsächlich über Gasabsaugung und Bewetterung abgeführten Gasströme basieren [8, 14, 18].

9.2 Verwertbare Methanvolumina

In 2020 werden nach der Prognose rund 197 Millionen m³ Methan verwertet werden können. In den nachfolgenden Jahren nimmt diese Menge aufgrund des Grubenwasseranstieges ab und wird sich voraussichtlich ab 2030 bei rund 84 Millionen m³ stabilisieren. Dabei wird sich an vielen Standorten eine deutliche Verlagerung hin zu höheren Saugdrücken und niedrigeren Methangehalten ergeben.

Abbildung 2 (im Text) zeigt die Entwicklung der gesamten sowie bei verschiedenen Saugdrücken (0 bis -200 hPa, -200 bis -400 hPa, -400 bis -600 hPa und -600 hPa bis -800 hPa) aus stillgelegten Bergwerken verwertbaren Methanvolumina als Summe für das Ruhrrevier und Ibbenbüren. Während in 2020 rund 40 % des verwertbaren Methanvolumens (76,3 Mio. m³ von 196,5 Mio. m³) bei Saugdrücken bis maximal -200 hPa gewonnen werden kann, geht dieser Wert ab 2028 auf unter 10 % (8,2 Mio. m³ von 90,4 Mio. m³) zurück. Zeitgleich nimmt der Anteil des bei Saugdrücken von mehr als -600 hPa gewonnenen Methans von etwa 30 % in 2020 auf 57 % in 2025 zu.

Dies ist eine Aufsummierung der verwertbaren Methanvolumina und es muss berücksichtigt werden, dass bezogen auf einzelne Standorte eine wesentlich stärkere

kontinuierliche Veränderung der Saugdrücke zu erwarten ist. Dies bedeutet, dass an solchen Standorten die Leistung der Verdichter regelmäßig gestuft erhöht werden muss.

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der mit verschiedenen Gasqualitäten (> 20 Vol.-%, 20 bis 15 Vol.-% und 15 bis 0,3 Vol.-%) förderbaren Methanvolumina. Der Anteil des jährlich verwertbaren Methanvolumens mit mindestens 20 Vol.-% Methangehalt geht voraussichtlich von 80 % (157,6 Mio. m³ von 196,5 Mio. m³) in 2020 auf weniger als 70 % (80,1 Mio. m³ von 121,5 Mio. m³) ab 2023 zurück. Der Rückgang der Methanvolumina, die jährlich konventionell verwertet werden können, erfolgt dabei nahezu in gleichem Umfang wie der Rückgang der insgesamt verwertbaren Methanvolumina. Die mit Sauerstoffeinspeisung verwertbaren Methanvolumina werden nach der Prognose nicht weiter zunehmen, sondern ab 2023 einen Anteil von weniger als 10 % (8,0 Mio. m³ von 121,5 Mio. m³) haben. Gleichzeitig nimmt der Anteil der Methanvolumina mit weniger als 15 Vol.-% Methan zu und erreicht ab 2023 um die 30 % (33,5 Mio. m³ von 121,5 Mio. m³). Demnach ist im Zeitraum von ca. 2021 bis 2023 zu erwarten, dass an mehreren Standorten die derzeitige Grenze des für eine wirtschaftliche Gasverwertung notwendigen Methangehalts unterschritten wird. Inwieweit die Methanvolumina mit weniger als 15 Vol.-% Methangehalt verwertet werden können, ist derzeit noch unklar.

Auch hier sind die Änderungen der insgesamt in den einzelnen Kategorien erfassten jährlich verwertbaren Methanvolumina eher gering, während bezogen auf einzelne Standorte stetige Veränderungen in Form zurückgehender Methangehalte zu erwarten sind.

Von dem gesamten verwertbaren Gasvolumen mit einem Methangehalt von unter 15 Vol.-% hat ungefähr 60 % einen Methangehalt von mehr als 10 Vol.-%.

Die verwertbaren Methanvolumina berücksichtigen erst ab dem Jahr 2020 eine Förderung an den Standorten Prosper-Haniel, Auguste Victoria, Haus Aden und Ibbenbüren, da der Rückzug aus den Grubengebäuden noch nicht abgeschlossen ist. Dadurch ergibt sich entsprechend der Anstieg von 2019 nach 2020.

In den Tabellen 3 bis 10 im Anhang sind die jährlichen und die gesamten im Zeitraum 2019 bis 2035 förderbaren Gasvolumina aufgelistet. Für das Ruhrrevier ergibt sich ein verwertbares Gasvolumen von insgesamt rund 1,79 Milliarden m³ bis 2035. Für die Ibbenbürener Lagerstätte wurde ein verwertbares Gasvolumen von insgesamt rund

35 Millionen m³ errechnet. Die Volumina beziehen sich jeweils auf den Gasbestandteil Methan in Normzustand bei einem Druck von 1013,25 hPa und einer Temperatur von 0 °C.

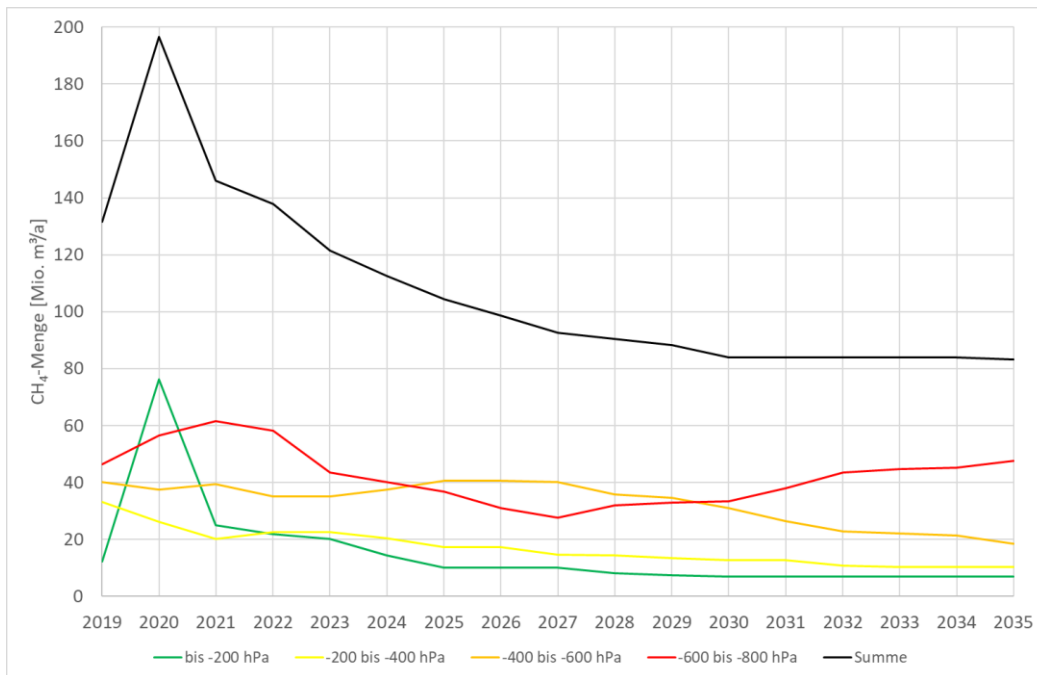


Abbildung 2: Verwertbare Methanvolumina mit Unterscheidung der Saugdrücke (Ruhr und Ibbenbüren)

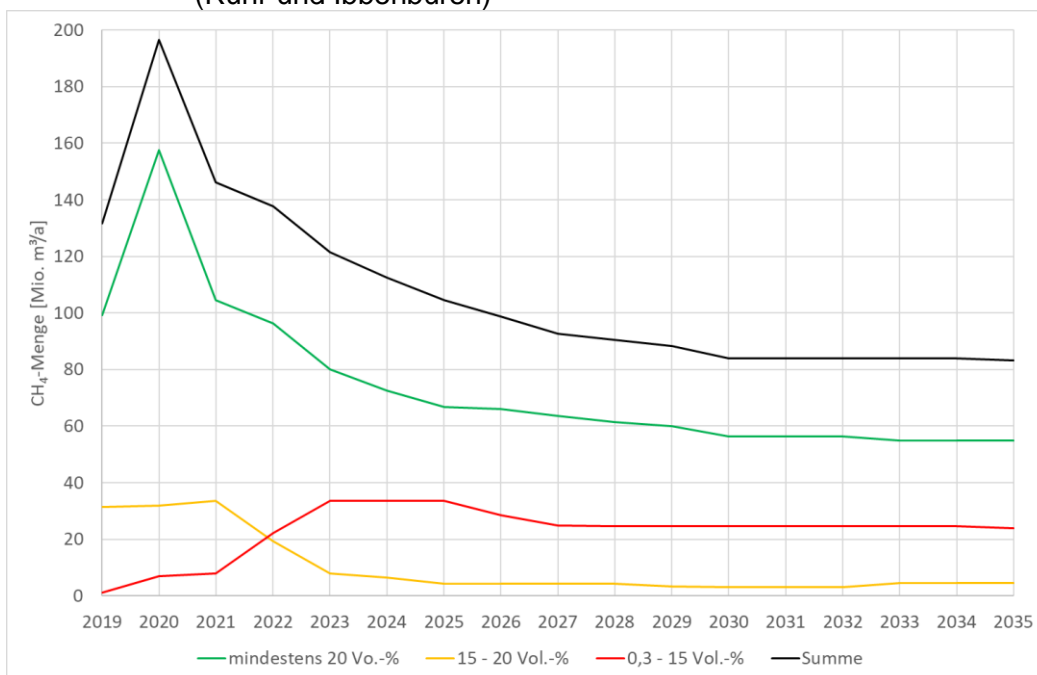


Abbildung 3: Verwertbare Methanvolumina mit Unterscheidung der Methangehalte (Ruhr und Ibbenbüren)

Abbildung 4 (des Textes) zeigt die für den vorliegenden Bericht prognostizierten, im Ruhrrevier verwertbaren Methanvolumina im Vergleich zu den im Rahmen der „Gutachterliche Stellungnahme zum Verwerten von Grubengas als Beitrag zur Emissionsvermeidung und zur Gefahrenabwehr“ für den Interessenverband Grubengas e.V. (IVG) errechneten Werten [10]. Die Unterschiede ergeben sich aus den verschiedenen Berechnungsansätzen. Derart unterschiedliche Betrachtungen sind auch bei der Bewertung von Erdreserven üblich. Die international übliche Bewertung nach der Society of Petroleum Engineers (SPE) definiert in diesem Zusammenhang Gasreserven gestuft nach der Wahrscheinlichkeit der Gewinnbarkeit (10 %, 50 %, 90 %).

Während die Prognose für den vorliegenden Bericht auf Basis einer Extrapolation von Betriebsdaten der Grubengasförderung an derzeit aktiven Standorten und der Bewetterung und Gasabsaugung noch betriebener Schachtanlagen erstellt wurde, basiert die Prognose für den IVG auf der Annahme, dass ein bestimmter Anteil der insgesamt aus der Lagerstätte freigesetzten Methanvolumina verwertet werden kann. Dieser Anteil wurde auf Basis der in der Vergangenheit erzielten Verwertungsraten abgeschätzt. Entsprechend kommen beide Prognosen für das Jahr 2020 zum gleichen Ergebnis.

Wie oben erwähnt, wurden bei der Prognose für den vorliegenden Bericht die aus den derzeit noch offenen Grubenbauen der zuletzt stillgelegten Bergwerke und Wasserhaltungen abströmenden Gasvolumina nicht berücksichtigt, so dass sich für 2019 ein geringerer Wert als für 2020 ergibt.

Da bei der Prognose für den IVG die Entwicklung der Methangehalte und Unterdrücke sowie die Überstauung der vorhandenen Zugänge zur Lagerstätte nicht für die einzelnen Standorte berücksichtigt sind, kann eine geringere Wahrscheinlichkeit der prognostizierten Werte unterstellt werden. Der Differenzbetrag kann damit auf derzeit noch nicht erschlossene Lagerstättenteile, für die bisher kein Nachweis der Gewinnbarkeit auf Basis von Produktionsdaten bzw. Testbesaugungen vorliegt, bezogen werden. Die Gasmengen für die Standorte Prosper-Haniel, Auguste Victoria, Haus Aden und Ibbenbüren wurden bei der Prognose für den vorliegenden Bericht bereits mitbetrachtet.

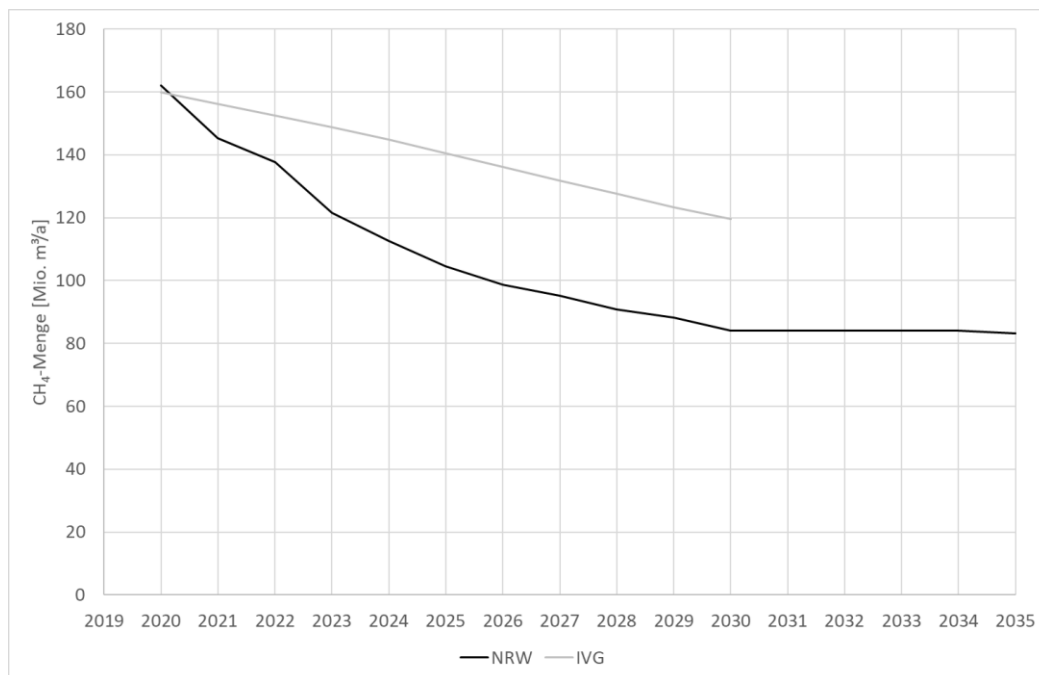


Abbildung 4: Verwertbare Methanvolumina im Ruhrrevier, Vergleich Gutachten Land NRW und IVG

9.3 Zusätzlich durch die Gasabsaugung freigesetzte Methanvolumina

Aufgrund des durch die Gasabsaugung an das Grubengebäude angelegten Unterdruckes ist davon auszugehen, dass ein mehr oder weniger großer Anteil des abgesaugten Grubengases durch eine rein barometrische Ausgasung, also ohne angelegten Unterdruck, nicht aus der Kohle freigesetzt werden würde. Dieser Anteil wurde auf Basis der Sorptionseigenschaften der Kohle abgeschätzt.

Der Zusammenhang zwischen Gasdruck und Gasinhalt der Kohle wird durch sogenannte Sorptionsisothermen beschrieben. Die Sorptionsisothermen beschreiben das an einer festen Oberfläche adsorbierte Gasvolumen als eine Funktion des Druckes für jeweils eine bestimmte Temperatur, ein bestimmtes Gas und ein bestimmtes festes Material. Durch DMT wurden in der Vergangenheit im Rahmen der Forschung Sorptionsisothermen für verschiedene Kohlentypen bestimmt, die nach ihrem Anteil an flüchtigen Bestandteilen in Prozent unterschieden wurden (Abbildung 5) [43]. Der Gasinhalt bezieht sich hier auf Methan als den Hauptbestandteil des Flözgases. Es ist deutlich erkennbar, dass Kohlen mit einem höheren Inkohlungsgrad bei gleichem Druck ein größeres Gasvolumen speichern können.

In der Lagerstätte des Ruhrreviers ist eine große Spanne an Kohlentypen vorhanden, wobei der Inkohlungsgrad in der Regel mit der Teufe zunimmt. Für die nachfolgende Betrachtung wurde vereinfachend ein mittlerer Anteil flüchtiger Bestandteile V von 25 % zugrunde gelegt.

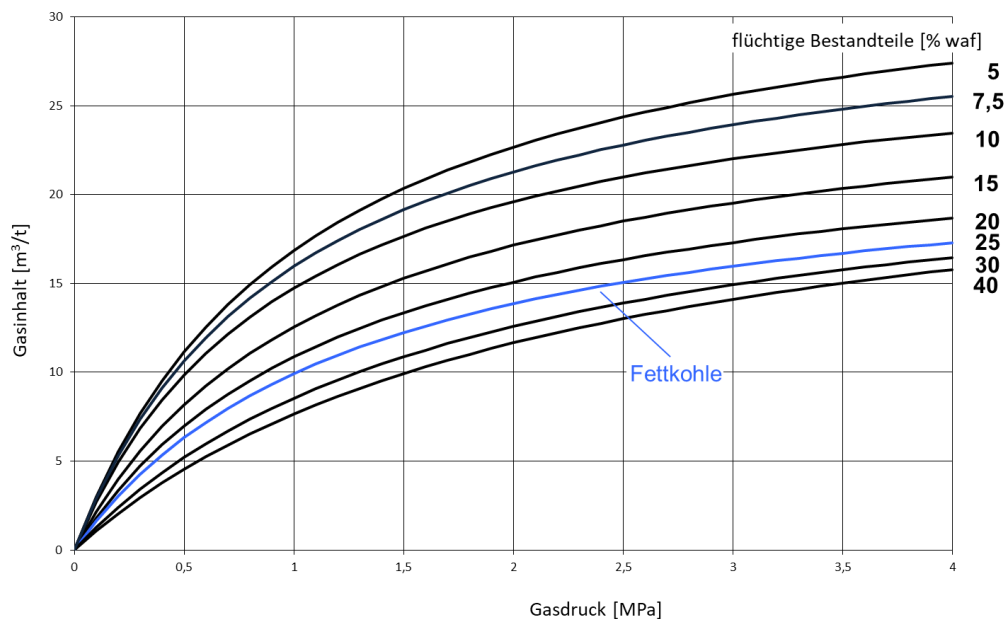


Abbildung 5: Sorptionsisotherme für $V = 25\%$
(bezogen auf wasser- und aschefreie Kohle = waf)

Während der Gaseinhalt der Fettkohlen in der unverritzten Lagerstätte an der Ruhr bei maximal etwa $15 \text{ m}^3/\text{t}$ liegt, wurde der Gaseinhalt der nicht abgebauten und in der Lagerstätte verbliebenen Kohlen durch die abbaubedingten Auflockerungen deutlich gesenkt. Somit enthält die nicht abgebaute Kohle, welche weiterhin Gas in die abgeworfenen Grubenbaue abgibt, Restgaseinhalte zwischen 0 und $15 \text{ m}^3/\text{t}$. Damit sind entsprechende Gasdrücke zwischen 0 und $2,5 \text{ MPa}$ verbunden. Da ein Druckgefälle zum Lagerstättendruck (=Absolutdruck in den abgeworfenen Grubenbauen) besteht, wird Gas desorbiert und strömt den abgeworfenen Grubenbauen zu. Theoretisch würden der Gasdruck und der Lagerstättendruck ein Gleichgewicht anstreben. Die Größe dieser Gasströme ist im Wesentlichen vom tatsächlichen Restgasdruck, dem Lagerstättendruck, den Permeabilitäten der durchströmten und zumeist abbaubedingt aufgelockerten Kohlen- und Gesteinsschichten und den Abständen zwischen Kohlenflöz und offenem Grubenbau abhängig.

Daraus ergibt sich eine sehr komplexe Situation mit vielen variablen Parametern, die eine genaue Berechnung der Gasströme nicht erlaubt. Daher wurde die nachfolgend beschriebene vereinfachte Betrachtung durchgeführt.

Aus den Lagerstätten Ruhrrevier und Ibbenbüren liegen ca. 4600 Werte für Flözgasinhalte vor, die nicht durch Abbau beeinflusst sind. Der Mittelwert dieser Gasinhalte beträgt $5,8 \text{ m}^3/\text{t}$. Der Restgasinhalt nach Abbau, der sich durch die Druckentlastung innerhalb des über- und unterbauten Schichtenpaketes ergibt, lässt sich auf Basis der sogenannten Ausgasungsvorausberechnung empirisch ermitteln [46, 47]. Dieses Verfahren wurde zur Prognose von Gaszuströmen in Abbaubetriebe für beide Lagerstätten entwickelt und standardmäßig angewendet. Erfahrungsgemäß bildet sich ein sogenannter Ausgasungsraum aus, der jeweils das Schichtenpaket von 180 m oberhalb bis 60 m unterhalb eines abgebauten Flözes umfasst. In diesem Ausgasungsraum wird der Gasinhalt entsprechend reduziert. Das gleiche Schichtenpaket stellt die wesentliche Quelle für das einem stillgelegten Bergwerk langfristig zuströmende Gas dar. Auf Basis der Ausgasungsvorausberechnung ergibt sich für dieses Schichtenpaket ein mittlerer Restgasinhalt von $3,2 \text{ m}^3/\text{t}$ (Abbildung 6).

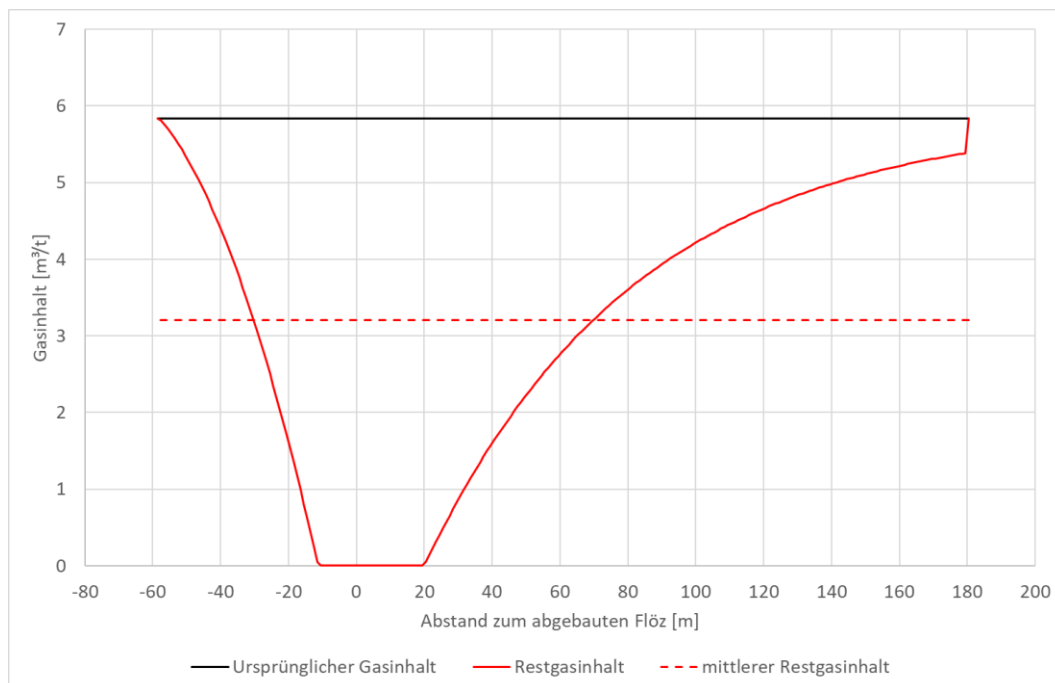


Abbildung 6: Ursprünglicher Gasinhalt und Restgasinhalt

Erfahrungswerte aus der wallonischen Lagerstätte in Belgien zeigen, dass sich über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten bei dichtem Deckgebirge ein Lagerstättendruck von ca. 0,2 MPa aufbauen kann. Der ursprüngliche Gasinhalt lag in dieser Lagerstätte bei bis zu 15,5 m³/t. Unter der Annahme, dass dabei ein Gleichgewicht zwischen Gasdruck und Lagerstättendruck erreicht wird, würde sich bei dem vorliegenden Kohlentyp (ebenfalls Fettkohle) ein mittlerer Restgasinhalt von 3,03 m³/t ergeben (Abbildung 7).

Dieser Erfahrungswert ist nahezu identisch mit dem o.g. theoretisch ermittelten Restgasinhalt und wurde daher für die weiteren Betrachtungen auf die nordrhein-westfälischen Lagerstätten übertragen.

Das Grubengas kann im Bereich des Ruhrreviers planmäßig über Entgasungsleitungen oder aber über Schwachstellen im Gebirge (z.B. mit Lockermassen verfüllte Schächte) passiv abströmen. Dies ist mit einem Druckgefälle von der Lagerstätte zur Tagesoberfläche verbunden, so dass der Lagerstättendruck über dem atmosphärischen Druck liegt. An nicht besaugten Entgasungsleitungen konnten im Ruhrrevier in der Vergangenheit Überdrücke von maximal 44,5 hPa festgestellt werden. Im Rahmen dieser Betrachtung wurde daher unterstellt, dass sich der Gasdruck ohne eine Besaugung der Lagerstätte langfristig auf 1013 hPa + 45 hPa = 1058 hPa = 0,1058 MPa senkt. Dies entspricht einem Restgasinhalt von 1,71 m³/t. Die Differenz zum ursprünglichen Restgasinhalt beträgt 1,32 m³/t.

Werden die nicht abgebauten Kohlen einem niedrigeren Umgebungsdruck (=Porendruck) ausgesetzt, würde zusätzlich Gas desorbiert werden. Der Porendruck unterscheidet sich von den an den Entgasungsleitungen gemessenen Lagerstättendrücken, da die an der Ausgasung teilnehmenden Kohlen in überwiegend größerer Entfernung (mehrere 10 bis über 100 m) zu den offenen Grubenbauen anstehen. Betrachtet man die Verteilung der aktuell an nicht besaugten Entgasungsleitungen anstehenden Unterdrücke, kann man erkennen, dass hohe Unterdrücke an den Gewinnungsstandorten selbst oder dort, wo direkte Streckenverbindungen zu den Gewinnungsstandorten bestehen, festgestellt werden können. Die Schächte, die nicht direkt an die besaugten Entgasungsleitungen angebunden sind, weisen wesentlich geringere Unterdrücke von ≤ 100 hPa auf.

Es wurde somit unterstellt, dass der Porendruck auf im Mittel 0,09 MPa herabgesetzt wird. Dies entspricht einem Restgasinhalt von 1,47 m³/t. Die Differenz zum Restgasinhalt bei 0,2 MPa beträgt 1,56 m³/t und die Differenz zum Restgasinhalt bei 0,106 MPa beträgt

0,24 m³/t. In diesem Fall würde sich das freigesetzte Gasvolumen bei Anlegen eines Unterdruckes entsprechend um $0,24 \text{ m}^3/\text{t} / 1,56 \text{ m}^3/\text{t} = 15,4 \%$ erhöhen.

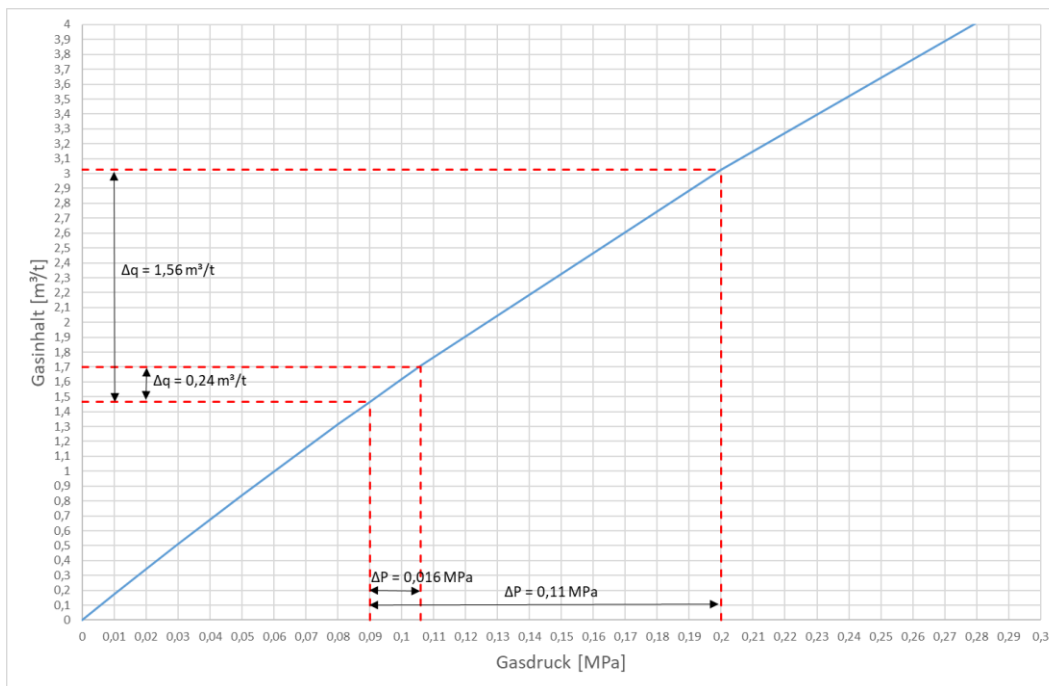


Abbildung 7: Reduzierung des Gasinhaltes bei Absenkung des Gasdruckes auf 0,106 MPa bzw. 0,09 MPa

Auf Basis dieser Betrachtung wird davon ausgegangen, dass durch Gasabsaugung im Vergleich zur rein passiven Entgasung der Grubenbaue bis 2035 im Ruhr- und Ibbenbürener Revier ein zusätzliches Methanvolumen von insgesamt rund 250 Millionen m³ aus der Lagerstätte freigesetzt wird. Dagegen würden im gleichen Zeitraum rund 1,57 Milliarden m³ Methan auch durch eine rein passive Entgasung an die Atmosphäre freigesetzt werden. Die Tabelle 11 im Anhang zeigt die jährlich rein barometrisch, die durch die Grubengasgewinnung und die entsprechend zusätzlich durch die Grubengasgewinnung aus der Lagerstätte freigesetzten Methanvolumina.

9.4 Reduzierung der Treibhausgasemissionen

Das relative Treibhauspotential (Global Warming Potential) von Methan, welches die Wirkung auf den Treibhauseffekt in Relation zu Kohlendioxid beschreibt, beträgt 25 [48]. Dies bedeutet, dass eine Tonne Methan in der Atmosphäre die gleiche Wirkung bezüglich des Treibhauseffektes hat wie 25 Tonnen Kohlendioxid. Durch die Verwertung und damit

die Zerstörung von Methan ergibt sich daraus ein positiver Effekt im Sinne des Klimaschutzes. Bei der Bemessung der durch die Grubengasverwertung erzielten Treibhausgasemissionsminderung ist sowohl das Kohlendioxid, das bereits im Grubengas enthalten ist als auch das bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxid zu berücksichtigen.

Bei der Gasverwertung entstehen durch die Verbrennung des Methans 2,75 Tonnen Kohlendioxid je Tonne Methan. Bezogen auf das bis 2035 prognostizierte verwertbare Gasvolumen von 1,82 Mrd. m³ Methan fallen durch dessen Verbrennung 3,6 Mio. Tonnen Kohlendioxid an.

Sowohl das durch passive Entgasung wie auch das durch aktive Besaugung freigesetzte Grubengas hat einen Anteil von Kohlendioxid. Aus den zur Verfügung gestellten Betriebsdaten geht hervor, dass Ende 2018 das abgesaugte Grubengas im Mittel rund 13 Vol.-% Kohlendioxid und rund 30 Vol.-% Methan enthielt. Aus den abgeworfenen Grubenbauen werden bis 2035 also rund 680 Mio. m³ Kohlendioxid ohnehin passiv freigesetzt. Durch den bei der Grubengasgewinnung angelegten Unterdruck würden zusätzlich 110 Mio. m³ Kohlendioxid abgesaugt, was einer Menge von 0,2 Mio. Tonnen Kohlendioxid entspricht.

Der Anteil des Methans, der ohne Grubengasgewinnung bis 2035 ohnehin passiv freigesetzt würde, beträgt 1,57 Mrd. m³ Methan und entsprechend 28,3 Mio. Tonnen Kohlendioxidäquivalenten. Abzüglich der vorgenannten Mengen von 3,6 Mio. und 0,2 Mio. Tonnen Kohlendioxid würden bis 2035 somit unter der Voraussetzung einer weiterhin betriebenen Grubengasgewinnung und –verwertung in NRW 24,5 Mio. Tonnen Kohlendioxidäquivalente vermieden werden können.

9.5 Entwicklung neuer Standorte

Es ist davon auszugehen, dass neue Standorte zur Gewinnung von Grubengas z.B. im Bereich der zuletzt stillgelegten Bergwerke Prosper-Haniel, Auguste Victoria und Ibbenbüren entwickelt werden. Weiterhin können sich infolge der Verfüllung von Schächten und der damit einhergehenden Reduzierung von Lufteinträgen in die abgeworfenen Grubenfelder Potentiale an Standorten ergeben, an denen bisher keine verwertbaren Methangehalte vorgefunden werden konnten.

Durch die Überstauung von Strömungswegen infolge des Grubenwasseranstieges werden sich die Einzugsbereiche der Grubengasgewinnungsanlagen teilweise verkleinern. Eine weitere Dezentralisierung der Gasgewinnung wäre dann nötig, um weiterhin das aus dem Gebirge freigesetzte Grubengas möglichst vollständig zu gewinnen. Da wo keine Entgasungsleitungen vorhanden sind, wären dann zusätzliche Grubengasgewinnungsbohrungen notwendig.

Vor der Entwicklung solcher Standorte steht ein Absaugversuch, auf dessen Basis ermittelt wird, ob ein verwertbares Gasgemisch gefördert werden kann und wenn ja, bei welchen Bedingungen. Erfahrungsgemäß ist ein Teil dieser Absaugversuche nicht erfolgreich. Weiterhin ist es möglich, dass beim Niederbringen von Gewinnungsbohrungen keine offenen bzw. mit weiteren Teilen des Grubenfeldes in Verbindung stehenden Grubenbaue angetroffen werden. Daraus ergibt sich ein gewisses Risiko bei der Exploration von Grubengas.

Insgesamt besteht ein Potential für 24 neue Standorte, wobei dazu 19 Entgasungsleitungen zur Verfügung stehen und für 5 Standorte Grubengasgewinnungsbohrungen mit Teufen von etwa 100 bis 300 m notwendig wären.

9.6 Rückbau aufgebener Standorte

Im Zuge des Grubenwasseranstieges wird an einigen Standorten durch Überstauung des Zuganges zur Lagerstätte eine Grubengasgewinnung nicht mehr möglich sein. Entsprechend ist es notwendig, die Anlagen zur Grubengasförderung und -verwertung an diesen Standorten zurückzubauen. Dies sind voraussichtlich jeweils zwei Standorte in den Jahren 2021 und 2022 sowie jeweils ein Standort in den Jahren 2024, 2026, 2027 und 2028. Standorte, die ggf. aus wirtschaftlichen Gründen aufgegeben werden, sind dabei nicht berücksichtigt.