



“Groninger gaskraan dicht: afkicken van aardgas of een beetje gas minderen?”

A. H. Galama

Datum online: 05-03-2019

Datum versie: 05-03-2019

Steekwoorden: Aardgas,
energieverbruik,
aardgaswinning,
Koolstofdioxide,
stikstofproductie

Korte omschrijving: Na het lezen van dit artikel bent u een expert op het gebied van aardgas in Nederland. Op een luchtige manier raakt u bekend met aardgaswinning en de bijbehorende terminologie. Aan de hand van cijfers en enkele goed te volgen berekeningen worden verrassende inzichten gegeven. Bij het volgende gesprek over het dichtdraaien van de gaskraan weet u waar u over praat.

‘Pangeaans’ aardgas in Nederland

Enkele honderden miljoenen jaren geleden lagen de huidige continenten nog bij elkaar in een grote landmassa; supercontinent ‘Pangea’. Het zeeniveau was hoger dan nu en er waren veel moerassen op het stuk aardkorst dat nu bekend staat als Europa [1]. Met de tijd werden meters dikke lagen van plantenresten opgeslagen in deze moerassen. Deze moerassen werden later bedekt door lagen zand en zout. Het veen veranderde onder druk van deze bodemlagen in steenkool, dat gebeurde in een periode die bekend staat als het ‘Carboon’, 359–299 miljoen jaar geleden [2]. Doordat er nog meer bodemlagen op deze steenkool werden afgezet nam de druk verder toe en werd steenkool omgezet in aardgas.

Op plaatsen waar slechtdoorlaatbare grondlagen aanwezig waren bleef gas in de bodem gevangen, terwijl het op andere plekken naar de atmosfeer kon ontsnappen. Gas zit niet als een gasbubbel in de bodem zoals de naam ‘gasbel’ doet vermoeden, maar zit onder druk in poreuze grondlagen [3]. Het Groninger gas zit in een zand- en kleisteenlaag, de ‘Slochteren formatie’. Dit is een afzettingsslaag net bovenop de lagen die afgezet zijn tijdens het Carboon. Deze laag met gas bevindt zich op 2,6–3,5 km diepte [4], [5]. Van de aanwezigheid van zo’n gasbel merk je

aan het oppervlak, normaalgesproken, niks.

Het gas bleef dan ook onopgemerkt tot dat in 1948 de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) voor het eerst winbare voorraden van dit honderden miljoenen jaren oude aardgas vond. In 1959 werd het aardgasveld van Slochteren ontdekt; ‘de Groninger gasbel’. Pas jaren later kwam men erachter dat het om een gigantisch grote gasvoorraad ging; een geschatte omvang van ca. 2.800 miljard kubieke meter [5], een van de grootste gasvelden ter wereld. Eind 1963 begon de distributie van het zogenaamde Groningen gas. Aanvankelijk ging deze gaswinning prima en zonder grote problemen. De hoge gasdruk (347 bar [5]) van een ‘nieuw’ gasveld maakt het gas gemakkelijk winbaar. Naar mate er meer gas gewonnen wordt neemt deze gasdruk af. Eind 2015 was de druk gedaald tot 74 bar [5]. Dit betekent niet alleen dat het moeilijker wordt om gas te winnen maar ook dat er indrukking (compressie) van de poreuze zandsteen laag kan plaatsvinden door het gewicht van de bovenliggende bodemlagen. Als een deel van de poreuze laag in elkaar wordt gedrukt (inklinking) kan dat leiden tot een aardbeving en bodemdaling. De eerste aardbeving in Groningen was op 1^e Kerstdag 1986. Met een kracht van 3,0 op de schaal van Richter was het een ‘goed

begin'. Meer dan driehonderd aardbevingen met een kracht van meer dan 2,0 op de schaal van Richter hebben sindsdien plaatsgevonden [5]. Omdat er steeds meer aardbevingen waren is er op 29 Maart 2018 door de regering (Minister Wiebes) besloten dat de gaskraan in Groningen stapsgewijs volledig dicht gaat. Uiterlijk in oktober 2022 moet de gaswinning geminderd zijn tot onder de 12 miljard Nm³ per jaar (N staat voor normale condities, zie kader 'de ene kuub is de andere niet...'). Vervolgens moet zo spoedig mogelijk de gasproductie tot onder de 7,5 miljard Nm³ per jaar worden gebracht. Uiterlijk in 2030, na 71 jaar exploitatie, moet de gaswinning van het Groningen gas helemaal stoppen. Bij deze krachtige daad kan de kanttekening worden geplaatst dat in 71 jaar de gasbel

die ontstaan is in vele miljoenen jaren, grotendeels is leeggehaald!

Hoe gas verdween uit Groningen

Historisch gezien komt jaarlijks het grootste gedeelte van het gewonnen aardgas in Nederland uit het Groninger gasveld. Het andere deel wordt gehaald uit zo'n 300 kleinere gasvelden, gelegen onder het land en de Noordzee [6], [7]. Eind 2016 waren er in totaal rond de 450 kleine velden bekend, waarvan een deel op dit moment niet geëxploiteerd wordt. De schatting van de nog resterende aardgasvoorraad in Nederland per 1 januari 2015 bedraagt 883 miljard Nm³, waarvan 671 miljard Nm³ in het Groninger gasveld [6]. De schatting van de aardgasvoorraad wordt voortdurend aangepast omdat het alleen over het

De ene kuub is de ander niet...

Een kenmerk van een materiaal in gasvormige fase is een relatief grote afstand tussen de moleculen waaruit het materiaal bestaat. Als gas onder druk wordt gezet worden deze moleculen dichter naar elkaar toe geperst; compressie. Bij voldoende compressie zal een gas overgaan in een vloeistof. Dit is het geval bij lpg, wat staat voor 'liquefied petroleum gas'. Een kubieke meter (m³) gas op 3 km diepte zit onder een behoorlijke druk opgesloten in een poreuze bodemlaag. Hierdoor zijn er veel meer gasmoleculen in hetzelfde volume, dan wanneer dit gas aan de oppervlakte komt. Naast de druk heeft ook de temperatuur invloed op de 'dichtheid' van een gas. De verandering in volume van een gas kan worden berekend met de algemene gaswet: $pV = nRT$

Deze formule betekent dat de druk p (N/m²) maal het volume V (m³) van een gas gelijk is aan de hoeveelheid gasmoleculen, n (mol*) vermenigvuldigt met de absolute temperatuur T (°K = °C+273,15) en de zogenaamde gasconstante R (= 8,314462 J/K mol). Deze laatste is een constante die energie, temperatuur en de hoeveelheid deeltjes aan elkaar relateert.

Waarom u dit wilt weten; cijfers over gaswinning en verbruik zijn vaak gegeven in Nm³ of in Sm³. 'N' staat voor normaal en 'S' voor standaard. Dit verwijst naar de condities waaronder het gas een volume van precies 1 m³ heeft. Voor N is dat bij $T = 0$ °C en atmosferische druk ($p = 1,01325 \times 10^5$ N/m²). Voor S is dat bij $T = 20$ °C en atmosferische druk. Met de algemene gaswet kunt u nu berekenen dat het aantal gas moleculen in 1 Nm³ gelijk is aan $pV / RT = (1,01325 \times 10^5 \times 1) / (8,314462 \times 273,15) = 44,62$ mol. Dezelfde berekening bij 20 °C, resulteert in 41,57 mol. Dit betekent dat er 6,8% minder deeltjes in 1 m³ aanwezig zijn als de temperatuur 20 °C hoger is of 7,3% meer als de temperatuur 20°C lager is.

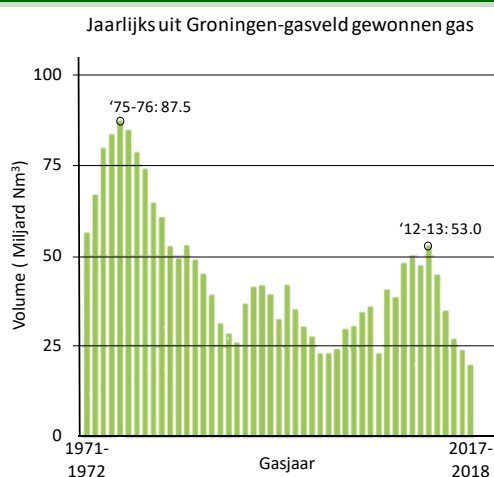
Met de algemene gaswet kunt u berekenen dat bij een druk van 347 bar (= 347×10^5 N/m²) en een temperatuur van 20°C er maar liefst 14.237 mol aan gasdeeltjes per 1 m³ porievolume zitten. Aan de oppervlak zou deze 1 m³ resulteren in ($14.237/41,57 \approx$) 342,5 m³ gas. Dit inzicht stelt u in staat om de daling van de druk in de gasbel onder Slochteren in perspectief te plaatsen. Neemt de druk af van 347 bar tot 74 bar, dan kunt u met de gaswet berekenen dat van de oorspronkelijke 14.237 mol/m³ nog maar 3.036 mol/m³ (ook bij 20°C) over zijn. Oftewel, 78,7% van de oorspronkelijke gasdeeltjes zijn opgepompt.

* mol is een maat voor het aantal moleculen (1 mol = $6,022 \ 140 \ 76 \times 10^{23}$ deeltjes)

technisch winbare en economisch rendabele deel van het aardgas in de Nederlandse gasvelden gaat. Fluctuaties in de gasprijs en ontwikkelingen in de aardgaswinning leiden tot een bijstelling van de aardgasreserves van Nederland. Nieuw ontdekte reserves hebben tegenwoordig maar een kleine invloed op de Nederlandse aardgasvoorraad [8].

Volgens de regering moet de aardgaswinning in Groningen in oktober 2022 tot onder de 12 miljard Nm³ per jaar worden gebracht. Dit klinkt nog steeds als ontzettend veel gas. In het verleden is echter per jaar veel meer gas opgepompt uit het Groninger gasveld (zie figuur 1). Het gasjaar (oktober t/m september) met de grootste gaswinning was 1976-1977. Drie jaar na het begin van de mondiale oliecrisis werd er 87,5 miljard Nm³ Groningengas gewonnen. In 2012-2013 was dit 53,0 miljard Nm³ [5]. Hierna is de hoeveelheid gewonnen gas jaarlijks afgenomen. Van oktober 2017 t/m september 2018 was dat 20,1 miljard m³. Die 12 miljard Nm³ is dus heel veel gas, maar in vergelijking met voorgaande jaren betekent het een forse reductie.

De totale hoeveelheid gewonnen Groningen gas van 1 januari 2015 - 1 oktober 2018 is 93,3 miljard Nm³ [5]. Als u deze hoeveelheid aftrekt van de eerdergenoemde schatting van de hoeveelheid aardgas die nog resteerde in deze bel op 1 januari 2015, blijft er ca. 578 miljard Nm³ over. De oorspronkelijke



Figuur 1: Gewonnen aardgas in miljarden Nm³ per gasjaar van 1971 - 2018. Data: NAM [5].

capaciteit werd geschat op 2.800 miljard Nm³. Dit betekent dat $100 - (578/2.800) \times 100\% = 79,4\%$ van het gas verbruikt is. Voor de optimist, er is nog 21% aanwezig (voor een alternatieve berekening zie kader: 'de ene kuub is de andere niet...'). Deze 578 miljard Nm³ kon met het winningsniveau van 2012-2013, nog $(578/53,0 =) 10,9$ jaar mee. Dat zou betekenen tot en met 2029! Om 2030 te halen met dit gasveld moest de gasproductie dus ook wel naar beneden. Tijd om het voorstel van het kabinet eens nader te bekijken. Bij de aannames dat de gaswinning van 2019 t/m 2022 ieder jaar 12 miljard Nm³ is en er in de 8 jaren hierna een lineaire afname van 7,5 miljard tot 0 Nm³ plaatsvindt, dan betekent dit dat er tot eind 2030 nog ca. 82 miljard Nm³ aardgas wordt gewonnen. Er blijft dan nog ongeveer 18% van het gas achter in de bel om het Groninger landschap te stutten.

Uit kleinere gasvelden zal na 2030 bij de huidige plannen nog wel gas worden gewonnen. Het is echter de bedoeling dat ook hier de gasproductie naar beneden gaat. Van meer dan 20 miljard Nm³ in 2018 tot 0,9-2,3 miljard Nm³ in 2050, waarvan ongeveer 60% uit gasvelden in de zee [9].

Aardgaswinning en stikstofproductie

In Nederland is er in de afgelopen jaren steeds minder aardgas gewonnen en het plan is dus dat in de nabije toekomst dit nog verder zal afnemen. De hoeveelheid aardgas die in Nederland jaarlijks verbruikt wordt is echter redelijk stabiel. In 2017 was het verbruik 2% lager dan in 1990, zo rond de 360 TWh aan energie [11]. Tussen deze jaren was het aardgasverbruik het hoogst in 2010; bijna 470 TWh, en het laagst in 2015; 335 TWh. De export van gas is veel minder afgenomen dan de winning. Om aan onze energiebehoefte en aan de exportcontracten te voldoen is het nodig om meer aardgas te importeren. In 2017 werd voor het eerst meer gas ingevoerd dan geproduceerd (zie figuur 2). Opvallend is dat de import bijna gelijk is aan de export. Het geïmporteerde gas komt vooral uit Noorwegen, maar ook uit Groot-Brittannië, Duitsland en Rusland [11].

Het ene aardgas is het ander niet...

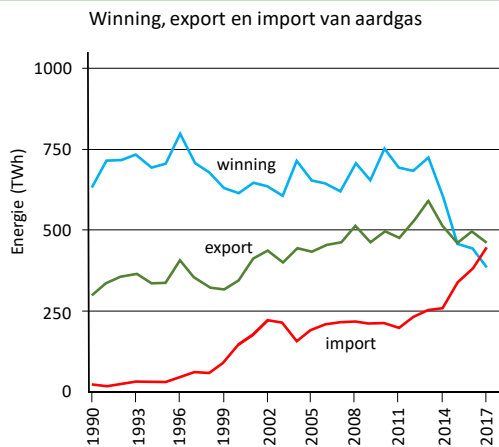
De samenstelling van aardgas varieert per gasbel en is voornamelijk opgebouwd uit methaan, stikstof, ethaan, propaan, butaan en koolstofdioxide. Methaan (CH₄) is de simpelste koolwaterstof; een koolstof (C) atoom verbonden met vier waterstof (H₄) atomen. In deze chemische verbinding zit energie opgeslagen. Hoe groter een koolwaterstof molecuul hoe meer energie het bevat. Hierdoor komt bij verbranding van ethaan, twee koolstof met zes waterstof atomen (C₂H₆), propaan (C₃H₈) en butaan (C₄H₁₀) meer energie vrij dan bij methaan. Ook benzine, diesel en kerosine zijn (een mix van) koolwaterstoffen. Doordat deze brandstoffen vooral uit grotere moleculen met langere ketens bestaan, zijn deze onder normale omstandigheden niet gasvormig maar vloeibaar. Onderstaande tabel toont de chemische verbrandingsreactie, de energie per massa brandstof en de hoeveelheid koolstofdioxide (CO₂) die vrijkomt per kWh. De relatieve hoeveelheid energie per gewicht neemt af met de grootte van de koolwaterstof. De uitstoot van CO₂/kWh neemt steeds verder toe. Aardgas staat hierdoor bekend als een (relatief) 'schone' brandstof.

Brandstof	Verbrandingsreactie	Verbrandingswaarde* (KWh/kg)	g CO ₂ / kWh
Methaan (aardgas)	CH ₄ + 2O ₂ → CO ₂ + 2H ₂ O	15,4	178,0
Ethaan	C ₂ H ₆ + 3,5O ₂ → 2CO ₂ + 3H ₂ O	14,4	203,2
Propaan (LPG)	C ₃ H ₈ + 5O ₂ → 3CO ₂ + 4H ₂ O	14,0	214,1
Butaan	C ₄ H ₁₀ + 6,5O ₂ → 4CO ₂ + 5H ₂ O	13,7	220,5
Benzine (≈ Octaan)	≈ C ₈ H ₁₈ + 12,5O ₂ → 8CO ₂ + 9H ₂ O	13,1	234,6
Diesel	≈ C ₁₂ H ₂₃ + 17,75O ₂ → 12CO ₂ + 11,5H ₂ O	12,4	253,6
Kerosine	≈ C ₁₂ H ₂₆ + 18,5O ₂ → 12CO ₂ + 13H ₂ O	12,8	253,1

*Verbrandingswaarde gebaseerd op de bovenste verbrandingswaarde

Naast de koolwaterstoffen zit in aardgas ook stikstof (N₂) en CO₂. Deze gassen verbranden niet en verlagen de energetische waarde van een kuub gas. De specifieke samenstelling bepaalt de energetische waarde van aardgas. Het gas uit het Groninger gasveld bevat relatief veel stikstof (~14% [12]), en heeft hierdoor een relatief lage energetische waarde. Dit wordt laag 'calorisch' aardgas genoemd. Waarbij calorisch verwijst naar calorie (cal) een eenheid voor energie, die staat voor de hoeveelheid energie die nodig is om 1 g water met 1°C te verhogen bij een druk van 1 atmosfeer en 1 cal = 4,186 Joule (J) = 1,163 milliwattuur (mWh). Gas met minder stikstof en een hoger gehalte aan methaan en andere koolwaterstoffen heeft een hogere verbrandingswaarde en wordt hoog calorisch gas genoemd. Dit geldt voor gas uit verschillende kleine gasvelden in Nederland en ook voor het grootste deel importgas. Omdat huishoudelijke apparatuur gewoonweg geschikt is voor laag calorisch gas wordt er stikstof aan het hoog calorische gas toegevoegd zodat het laag calorisch gas wordt. Of een gas in de categorie hoog calorisch of laag calorisch valt wordt bepaald door de Wobbe index.

Deze Wobbe Index is de verbrandingswaarde van een gas gedeeld door de wortel van de specifieke dichtheid van dit gas. Waarbij de specifieke dichtheid (kg/Nm³) van een gas gedefinieerd is als de dichtheid van het gas gedeeld door de luchtdichtheid (kg/Nm³). Volgens de Nederlandse wet is een gas hoog calorisch wanneer deze index tussen de 47 – 55,7 MJ/Nm³ is [13]. Voor Groninger gas, G-gas genoemd is de Wobbe index bij levering vastgesteld op 43,46 – 44,41 MJ/Nm³ [13]. Wobbe is trouwens niet de naam van een Groninger professor, die deze formule heeft bedacht, deze eer komt de Italiaanse ingenieur Goffredo Wobbe toe. Wie dacht dat lucht niks weegt heeft het mis, een Nm³ lucht weegt ~1,293 kg [14]. Aardgas is lichter en het G-gas heeft een dichtheid van ~0,833 kg/Nm³. De specifieke dichtheid komt hiermee op 0,644. Op basis van deze gegevens kunt u dan berekenen dat de verbrandingswaarde voor G-gas bij aflevering tussen de 9,7 en 9,9 kWh/Nm³ is. En nu kunt u ook een inschatting maken van de hoeveelheid elektriciteit die u extra nodig bent als u afstapt van aardgas.



Figuur 2: Winning, export en import van aardgas uitgedrukt in terawattuur (TWh) van 1990 – 2017. Data: CBS [10].

Door de stijging in de hoeveelheid hoogcalorisch importgas moet er steeds meer stikstof worden geproduceerd om laag calorisch gas te maken (zie kader: 'Het ene aardgas is het ander niet...'). Om deze reden wordt bij Zuidbroek (Gr.) een bestaand 'stikstoffabriek' uitgebreid [15]. Deze uitbreiding zal een capaciteit hebben om genoeg stikstof uit lucht te halen om 7 miljard Nm³ hoog calorisch gas om te zetten in laag calorisch gas [15]. Op dit moment zijn er in Nederland 4 stikstofinstallaties die samen ongeveer 20 miljard Nm³ hoog calorisch gas d.m.v. stikstof toevoeging kunnen omzetten in laag calorisch gas [15]. De normale stikstof productie capaciteit op dit moment (begin 2019) is ca. 507.000 m³/uur [16]. De nieuwe installatie vergroot deze capaciteit met zo'n 180.000 m³/uur [17]. Alhoewel lucht voor 78% procent uit stikstof bestaat, kost het produceren van stikstof uit lucht veel energie. Uitgaande van volledige benutting van de stikstofproductie capaciteit zal de uitbreiding naar schatting 1000 GWh per jaar gaan gebruiken [17].

Bij de aanname dat de huidige stikstofinstallaties dezelfde efficiëntie hebben als de uitbreiding bij Zuidbroek, kunt u de totale energiebehoefte voor alle stikstofproductie na oplevering van de nieuwe fabriek berekenen. De totale capaciteit na het bouwen van de uitbreiding is 20 + 7 = 27 miljard Nm³. Als u dan 27/7^e vermenigvuldigen met de eerder genoemde 1000 GWh, komen u op een totaal verbruik van 3857 GWh. Dat

staat gelijk aan 3857 miljoen kWh per 27 miljard Nm³ gas, oftewel 0,143 kWh/Nm³. Dat is 1,5% van de gemiddelde verbrandingswaarde van Groninger gas (9,8 kWh/Nm³). Als de stikstofinstallaties op aardgas draaien, vind er dus een verlies van 1,5% van het gas plaats door het van hoog calorisch om te zetten in laag calorisch gas. Dat is een extra uitstoot van ongeveer 2,6 gram CO₂ per kWh. Dat klinkt weinig. Omgerekend naar de 27 miljard kuub gas betekent dat echter meer dan 7 miljoen kg extra CO₂ uitstoot. Dat klinkt veel.

Een alternatief voor het uitbreiden van de stikstofinstallaties is het gefaseerd geschikt maken van delen van het gasnetwerk voor hoog calorisch gas. Ieder huishouden en bedrijf in dat deel van het netwerk zal dan of nieuwe apparatuur (bijvoorbeeld CV ketels) moeten hebben of, indien mogelijk, bestaande apparatuur laten afstellen op hoog calorisch gas. Om dit in de toekomst mogelijk te maken gelden sinds 2018 hernieuwde wettelijke eisen aan nieuwe gastoestellen [18]. Geen gekke gedachte, waarom energie verspillen om gas een laagwaardigere brandstof maken als het anders kan. Ook nu al heeft de Gasunie Transport Services (GTS) een netwerk voor hoog calorisch gas in Nederland. Het huidige beleid in Nederland [19] is dat het laag calorisch gasnetwerk in stand blijft omdat bijmengen van stikstof goedkoper wordt geacht dan het op korte termijn geschikt maken van het netwerk voor hoog calorisch gas. Ook wordt verondersteld dat Nederlanders steeds minder aardgas gaan gebruiken. Als dat zo is zal er wel een alternatieve energiebron moeten worden gevonden, de verwachting is namelijk niet dat er fors minder energie gebruikt gaat worden in Nederland. De verwachting van het energieonderzoek centrum Nederland is dat bij voorgenomen beleid het energieverbruik zal dalen van ca. 556 TWh in 2020 naar ca. 537 TWh in 2030 [20]. Een daling van 3,4%. Dat klinkt meer als een beetje minderen dan afkicken.

Het is maar zeer de vraag of alternatieve energiebronnen gebruikt kunnen worden om de daling in gaswinning op te vangen. Waarschijnlijker is dat meer energie uit het buitenland geïmporteerd gaat

worden. De gaskraan in Groningen gaat dicht, de buitenlandse gaskranen een beetje verder open. Voor de totale hoeveelheid CO₂-emissies zal het allicht (in eerste instantie) nadelig uitpakken.

Literatuur

- [1] J. Trappe, "Pangea: extravagant sedimentary resource formation during supercontinent configuration, an overview," *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, vol. 161, no. 1-2, pp. 35-48, Aug. 2000.
- [2] F. M. Gradstein, *The geologic time scale 2012*. Volume 2. Elsevier, 2012.
- [3] TNO, "Aardgas en aardolie - Geologie van Nederland." [Online]. Available: <http://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/aardgas-en-aardolie>. [Accessed: 09-Feb-2019].
- [4] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat and TNO, "Groningen gasveld | NLOG." [Online]. Available: <https://www.nlog.nl/groningen-gasveld>. [Accessed: 10-Feb-2019].
- [5] Nederlandse Aardolie Maatschappij: NAM, "Feiten en cijfers | NAM." [Online]. Available: <https://www.nam.nl/feiten-en-cijfers.html>. [Accessed: 10-Feb-2019].
- [6] Milieudefensie, "Olie-en gaskaart." [Online]. Available: <https://milieudefensie.nl/actueel/olie-en-gaskaart-laait-zien-waar-in-nederland-nog-geboord-kan-gaan-worden>. [Accessed: 10-Feb-2019].
- [7] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat: Staatstoezicht op de Mijnen, "Oliewinning en gaswinning." [Online]. Available: <https://www.sodm.nl/onderwerpen/oliewinning-en-gaswinning>. [Accessed: 10-Feb-2019].
- [8] Centraal Bureau voor de Statistiek: CBS, "Aardgas reserves," Aardgas voor bijna 80 procent op, 2016. [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/37/aardgas-voor-bijna-80-procent-op>. [Accessed: 10-Feb-2019].
- [9] Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, "Gaswinning kleine velden," Gaswinning uit kleine velden in de energietransitie. Den Haag, p. 13, 2018.
- [10] Centraal Bureau voor de Statistiek: CBS, "Winning, invoer en uitvoer van aardgas," 2019. [Online]. Available: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83180NED/line?ts=1550045392379>. [Accessed: 13-Feb-2019].
- [11] Centraal Bureau voor de Statistiek: CBS, "Energieverbruik verandert nauwelijks in 2017," 2018. [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/16/energieverbruik-verandert-nauwelijks-in-2017>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [12] Nederlandse Aardolie Maatschappij: NAM, "Gas kwaliteit | NAM." [Online]. Available: <https://www.nam.nl/gas-en-oliewinning/het-winnen-van-aardgas/gas-kwaliteit.html>. [Accessed: 17-Feb-2019].
- [13] Ministerie van Economische Zaken, "Regeling gaskwaliteit - WJZ/13196684," wetten. [Online]. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0035367/2019-01-01>. [Accessed: 16-Feb-2019].
- [14] D. R. Lide, Ed., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 85th ed. Boca Raton (Florida, U.S.A.), 2004.
- [15] Gasunie, "Gasunie Zuidbroek." [Online]. Available: <https://zuidbroek.gasunie.nl/>. [Accessed: 17-Feb-2019].
- [16] Gasunie Transport Services, "Netwerk Operations." [Online]. Available: <https://www.gasunietransportservices.nl/netwerk-operations>. [Accessed: 17-Feb-2019].
- [17] "Aanvraagdocumenten revisievergunning MS Stikstofinstallatie Zuidbroek (aanvraagnummer 3868143)." p. 790, 2018.
- [18] "Warenwetbesluit gastoestellen 2018," wetten, 2018. [Online]. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0041162/2018-07-18#Artikel10>. [Accessed: 19-Feb-2019].
- [19] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland: RVO, "Beleid over laagcalorisch gas." [Online]. Available: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/gassamenstelling/laagcalorisch-gas-g-gas/beleid-over-g-gas>. [Accessed: 19-Feb-2019].
- [20] ECN, PBL, CBS, and RVO, "Nationale Energieverkenning 2017," Petten, 2017.