

NO_x reductie KGF1



Auteur

[REDACTED]
[REDACTED]

Datum

[REDACTED]

1. Inhoud

1. Inhoud.....	3
2. Inleiding	4
3. Achtergronden van NO _x vorming bij kooksfabrieken.....	5
3.1 Invloed vlamtemperatuur op de NO _x vorming.....	5
3.2 Invloed zuurstofpercentage op de NO _x vorming	7
3.3 Regressie analyse	8
4. Mogelijkheden tot NO _x emissie reductie KGF1	10
4.1 Geïntegreerde of nageschakelde DeNO _x -installatie	11
4.2 Alternatieve of aangepaste branders	13
4.3 Toepassen van andere brandstoffen of mengsels.....	16
4.3.1 KO-gas of HO-gas	17
4.3.2 Aardgas	18
4.3.3 OXY-gas	19
4.3.4 Effecten van veranderen gasbalans over de site.....	20
4.4 Eigenschappen van het stookgas en de verbrandingslucht.....	24
4.4.1 Resultaten parameterstudie KO-gas	25
4.4.2 Resultaten parameterstudie HO-gas.....	26
4.4.3 Resultaten parameterstudie aardgas	27
4.4.4 Resultaten parameterstudie OXY-gas.....	28
4.4.5 Minder Cyanide in KO-gas	29
4.4.6 Minder Ammoniak in KO-gas	30
4.4.7 Meer BTX in KO-gas.....	31
4.4.8 Waterinjectie in verbrandingslucht en/of stookgas	32
4.4.9 Temperatuur van het stookgas	33
4.4.10 Recirculeren van rookgas	34
4.5 Aanpassen van procesinstellingen stookstelsel	35
4.5.1 Gaartijden	36
4.5.2 Gasflow.....	38
4.5.3 Zuurstofovermaat.....	39
4.5.4 Regenerator temperatuur.....	41
4.5.5 Omstel- en Pauzetijden.....	42
5. Ease / Impact analyse.....	44
6. Conclusies	45
Literatuur.....	47
Bijlage 1: Integrale beschrijving van de onderzoeksverplichting NO _x reductie KGF1	48

2. Inleiding

Uit het besluit tot wijziging omgevingsvergunning, ambtshalve wijziging in het kader van de BREF I&S BBT conclusie 49 bij de Kooksfabrieken. (Documentnummer: 21615328) is een onderzoeksverplichting voor NO_x vermindering voortgekomen. Met voorliggende notitie wordt daar uitvoering aan gegeven voor KGF1.

Hieronder de tekst overgenomen uit het besluit.

Voorschrift 1.2.20.H.I.: Onderzoek NO_x-maatregelen EL.107 batterijschoorstenen Kooksfabriek 1

- a. Door vergunninghouder moet zo spoedig mogelijk, maar uiterlijk 1 januari 2023, onderzoek zijn verricht naar de mogelijkheden om de emissie van NO_x te reduceren.
- b. Het onderzoek moet zijn gericht op het reduceren van de NO_x-emissie tot een waarde van 500 mg/Nm³, waarbij het accent moet liggen op het terugdringen van de emissievracht van NO_x.
- c. Het onderzoek dient onder andere inzicht te geven in de verschillende technische mogelijkheden, de kosten van de maatregelen, de te bereiken reducties en de mogelijke implementatie van de maatregelen.
- d. Een rapport betreffende de resultaten van het onderzoek en de hieraan te verbinden conclusies moet binnen twee maanden na afronding van het onderzoek schriftelijk bij gedeputeerde staten zijn ingediend. Gedeputeerde staten kunnen aan het rapport binnen twee maanden na indiening ervan nadere eisen stellen, waaraan vergunninghouder vervolgens moet voldoen.

Zie Bijlage 1 voor de integrale beschrijving van de onderzoeksverplichting NO_x reductie KGF1

3. Achtergronden van NO_x vorming bij kooksfabrieken

NO_x (stikstofoxiden) is de verzamelnaam voor zowel NO als NO₂. Bij verbranding wordt meestal NO gevormd. NO zal uiteindelijk echter verder oxideren tot NO₂ wanneer het in het milieu vrijkomt. Omdat NO₂ een factor is bij de vorming van zure regen, wordt de uitstoot van NO en NO₂ uitgedrukt als totaal NO₂.

Als men over het ontstaan en vorming van NO_x spreekt kan men twee hoofdmechanismen onderscheiden. Deze zijn, thermische NO_x en brandstof NO_x. Een derde mechanisme, prompt NO_x is minder relevant voor deze studie omdat het qua bijdrage niet significant is en nauwelijks valt te beïnvloeden. ^[12]

De vorming van thermische NO_x is vooral dominant bij vlamtemperaturen boven de 1500 °C, de vormingssnelheid is exponentieel temperatuursafhankelijk. Dit vanwege het feit dat het relatief veel energie vraagt om de stikstofatomen binnen het N₂ molecuul van elkaar te scheiden.

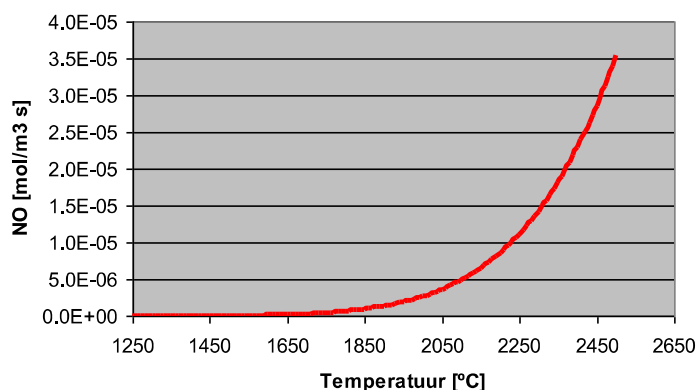
Buiten de vlamtemperatuur zijn de stikstof- en zuurstofconcentratie in de rookgassen bepalend voor de vorming van NO_x.

Brandstof NO_x is dominant bij relatief lagere temperaturen (onder de 1500 °C) en de vormingssnelheid is afhankelijk van de concentratie brandstof-gebonden-stikstof verbindingen in het gas, zoals HCN en NH₃. Vaak wordt aangenomen dat deze verbindingen bij temperaturen boven de 1000 °C en luchtvermaten van 1.0 en hoger, één op één worden omgezet naar NO.

In het thermische NO_x zijn een tweetal parameters bepalend voor de NO_x vormingssnelheid als men kijkt naar de kooksfabrieken. Dit zijn de vlamtemperatuur en het zuurstofpercentage in de rookgassen (een maat voor de luchtvermaat waarmee gestookt wordt).

3.1 Invloed vlamtemperatuur op de NO_x vorming

Zoals eerder gemeld is de vorming van thermische NO_x zeer temperatuursafhankelijk. In Figuur 1 is deze temperatuursafhankelijk gepresenteerd ^[3]. Duidelijk te zien is dat de NO_x vormingssnelheid exponentieel toeneemt met de temperatuur.



Figuur 1 Temperatuursafhankelijkheid van de NO_x vorming

De vlamtemperatuur is van de volgende parameters afhankelijk:

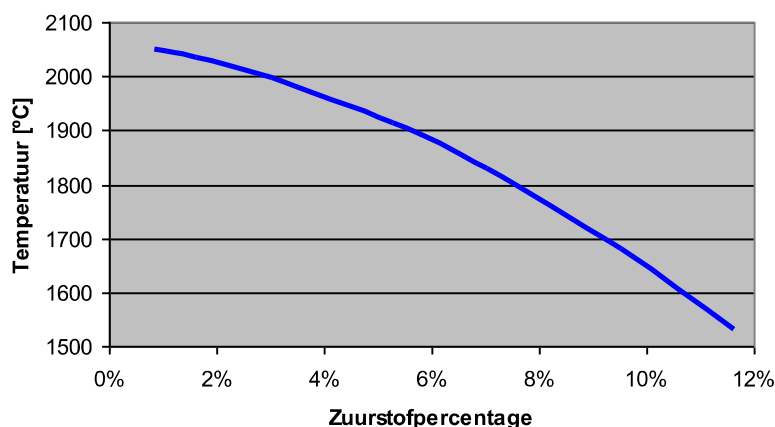
- Gassoort (samenstelling van het gas)
- Luchtovermaat (zuurstofpercentage in de rookgassen)
- Verbrandingsluchttemperatuur

De vlamtemperaturen zijn afhankelijk van de samenstelling van de gassen. In Tabel 1 kan men de samenstelling en de adiabatische (maximaal haalbare) vlamtemperaturen van de verschillende gassoorten binnen Tata IJmuiden vinden.

	Eenheid	KO-gas	HO-gas	OXY-gas	Aardgas
H ₂	% vol				
CO	% vol				
CH ₄	% vol				
CO ₂	% vol				
C _x H _y	% vol				
C ₆ H ₆	% vol				
N ₂	% vol				
NH ₃	% vol				
HCN	% vol				
Adiab. vlam temp.	°C				

Tabel 1: Samenstelling van de verschillende beschikbare brandbare gassen met hun Adiabatische vlamtemperaturen (bij een luchtovermaat van 10% en een verbrandingslucht temperatuur van 1050 °C)

Naast de samenstelling van het gas dat gestookt wordt, is ook het zuurstofpercentage van belang voor de vlamtemperatuur (zie Figuur 2).

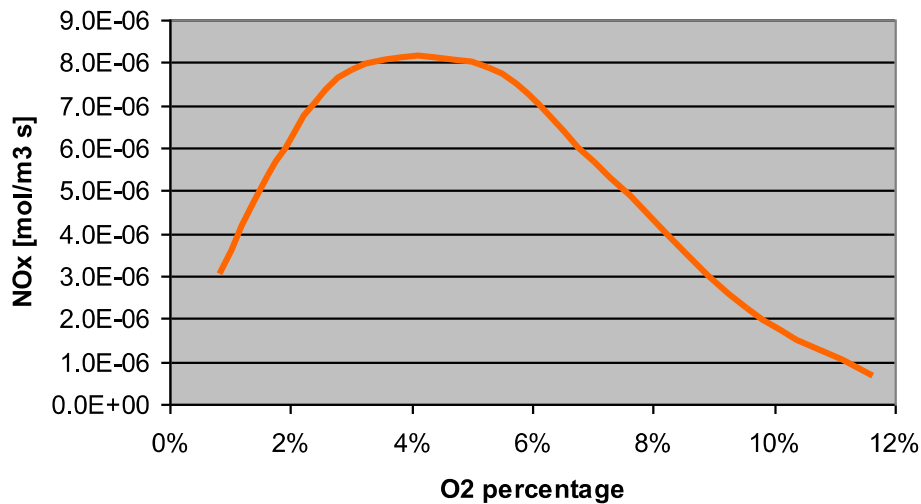


Figuur 2: Vlamtemperatuur als functie van het zuurstofpercentage in de rookgassen (bij het stoken van kookgas met lucht van 1050 °C)

Figuur 2 laat duidelijk zien dat de vlamtemperatuur exponentieel afneemt naar mate er meer lucht wordt toegevoerd aan de verbrandingskamer. Als derde parameter die van invloed is op de NO_x vorming is de temperatuur van de verbrandingslucht. De vlamtemperatuur neemt lineair toe naar mate de temperatuur van de verbrandingslucht toeneemt.

3.2 Invloed zuurstofpercentage op de NO_x vorming

Volgens de beschreven relatie zal de NO_x vormingssnelheid lineair toenemen met het zuurstofpercentage in de rookgassen. Maar daarnaast heeft het zuurstofpercentage ook effect op de vlamtemperatuur, zoals men eerder heeft kunnen lezen. Als men beide effecten combineert en dan nogmaals de NO_x vormingssnelheid bepaald, krijgt men de grafiek zoals die is afgebeeld in Figuur 3.



Figuur 3 : NO_x vormingssnelheid als functie van het zuurstofpercentage in de rookgassen

Zoals men duidelijk kan zien neemt de NO_x vormingssnelheid allereerst toe met het zuurstofpercentage, maar naar mate er meer zuurstof (en dus lucht) wordt toegevoerd zal de NO_x vormingssnelheid dalen. Het maximum van de NO_x vormingssnelheid bij stoken op KO-gas ligt tussen de 3% en 5% zuurstof in de rookgassen. Bij zuurstofpercentages onder de 3% is het zuurstofpercentage de bepalende factor voor de NO_x vorming. Boven de 5% is de vlamtemperatuur bepalend.

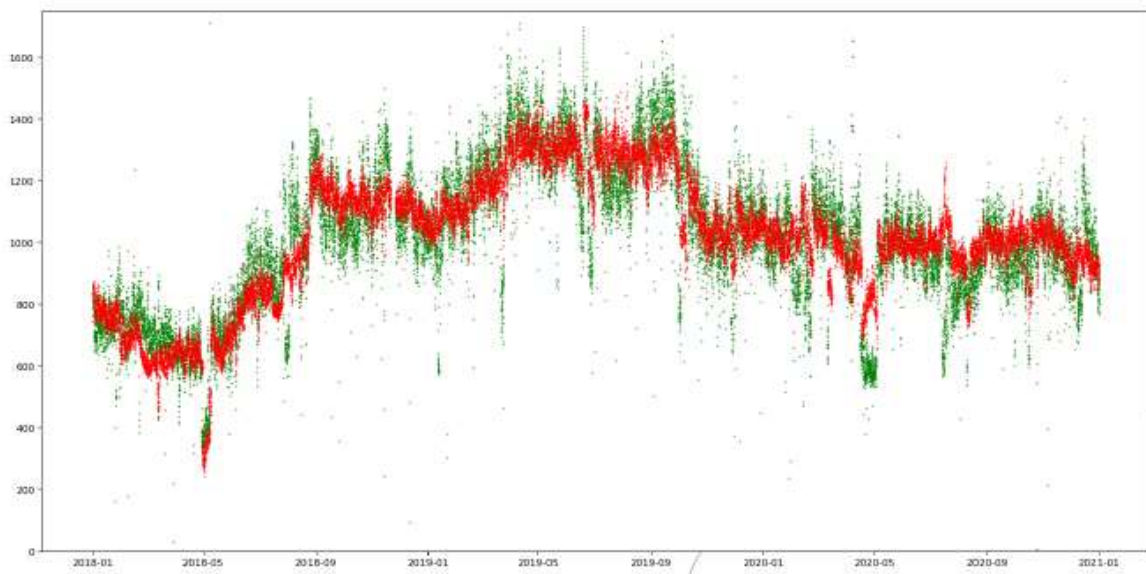
3.3 Regressie analyse

Door middel van een regressie analyse zijn de meest belangrijke parameters voor de vorming van NO_x in het stookstelsel van KGF1 in kaart gebracht. Hiervoor is er gekeken naar data van de afgelopen 20 jaar, afkomstig van de KGF1. Uit literatuur en eerdere analyses komt naar voren dat het soort gas dat wordt gestookt van groot belang is. Met name bij het stoken van kooksofengas is de NO_x vorming groter dan bij het stoken van hoogovengas. Om deze reden zijn er twee aparte analyses gedaan. Een voor het stoken van ieder soort gas.

Voor kooksgas is er met name gekeken naar de emissie uit schoorsteen 11, [REDACTED]

en daar dus het meeste data van beschikbaar is. Voor het stoken op hoogovengas is gekeken naar [REDACTED]

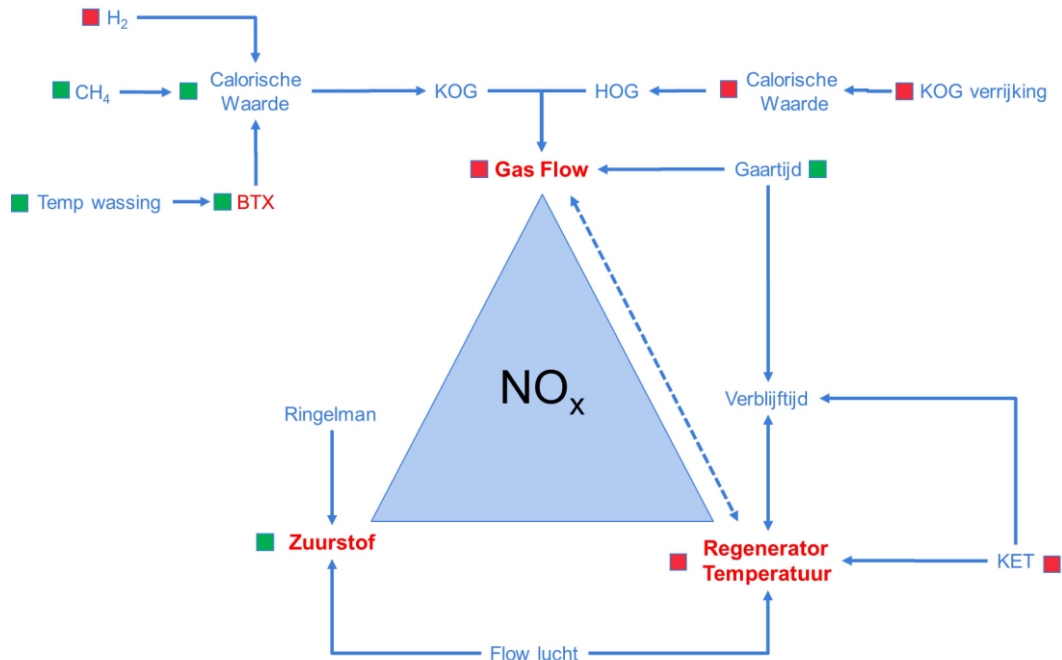
Als we de NO_x op kooksgas in beschouwing nemen kunnen we zien dat er een aantal parameters een significante invloed hebben. In het stookstelsel zelf zijn de regenerator temperaturen, stookgas debieten, zuurstof concentratie in het rookgas en rookgas temperatuur het meest significant. Daarnaast zijn ook de energie dichtheid van het stookgas en de concentratie waterstof in het stookgas van belang. Hierbij blijkt een energie rijker gas te zorgen voor een lagere NO_x concentratie. Een voorspellend model met deze meest relevante parameters laat een [REDACTED] zien.



Figuur 4 : Regressie model voor schoorsteen 11

Voor het stoken op hoogovengas wordt duidelijk dat opnieuw de regenerator temperatuur en het stookgas debiet de grootste voorspellende waarde bevatten. Opvallend is dat in deze situatie de stookwaarde van het gas ook van belang is, maar een positieve correlatie heeft, in tegenstelling tot de negatieve correlatie bij kooksofengas. Dit betekent dat in het geval van het stoken op hoogovengas, een rijker gas zorgt voor een hogere NO_x uitstoot. Een voorspellend model van het proces op hoogovengas laat een [REDACTED] zien.

Op basis deze analyse is een diagram opgesteld (zie Figuur 5) om de onderlinge verbondenheid van de parameters weer te geven. Een rood vlak betekent een toegenomen uitstoot van NO_x bij een verhoging van de parameter (positieve correlatie), een groen vlakje betekent een afgenomen NO_x uitstoot bij verhoging van de parameter (negatieve correlatie).



Figuur 5 : diagram met onderlinge verbondenheid van de procesparameters die NO_x beïnvloeden.

Voor het totale systeem zijn uiteindelijk de totale gasflow, zuurstof overmaat en de regenerator temperatuur de meest belangrijke factoren. Deze factoren zijn echter ook onderling met elkaar verbonden (de gasflow heeft bijvoorbeeld invloed op de regenerator temperatuur), en kunnen niet volledig los van elkaar worden gestuurd. Wel geeft dit in de rest van het onderzoek inzicht in hoe veranderingen in deze parameters invloed kunnen hebben op de andere.

4. Mogelijkheden tot NO_x emissie reductie KGF1

In de openbare wetenschappelijke literatuur ^{[1][2][7][8][9][10][11]} is onderzoek gedaan naar de technieken die toepasbaar zijn bij kooksfabrieken.

De beschikbare NO_x-reductietechnieken zijn onder te verdelen in:

- Primaire technieken : NO_x-vorming beperkende technieken; door maatregelen tijdens het verbrandingsproces wordt de vorming van NO_x aan de bron beperkt.
- Secundaire technieken : NO_x-verwijderingstechnieken; de in de rookgassen aanwezige NO_x wordt langs chemische weg gedeeltelijk verwijderd.

De NO_x reducerende technieken voor kooksfabrieken worden hieronder opgesomd en vervolgens toegelicht en hun effectiviteit, toepasbaarheid en de kosten beoordeeld. De beoordeling is gebaseerd op simulatie onderzoek van R&D en regressie analyse op proces data van KGF1 door het Center of Expertise Ironmaking.

- *Geïntegreerde of nageschakelde DeNO_x-installatie*
 - SCR
 - SNCR
- *Alternatieve of aangepaste branders*
 - Alternatieve brander
 - Aangepaste brander
- *Toepassen van andere brandstoffen of mengsels*
 - Maximaal KO-gas stoken
 - Maximaal HO-gas stoken
 - OXY-gas
 - Aardgas
 - Hoogovengas verrijkt met aardgas
- *Eigenschappen van het stookgas en verbrandingslucht*
 - Minder Cyanide in KO-gas
 - Minder Ammoniak in KO-gas
 - Meer BTX in KO-gas
 - Waterinjectie in stookgas of verbrandingslucht
 - Temperatuur van het stookgas
 - Recirculeren van rookgas
- *Aanpassingen procesinstellingen stookstelsel*
 - Gaartijd
 - Gasflow
 - Zuurstofovermaat
 - Regenerator temperatuur
 - Omstel- en pauzetijden

Per paragraaf wordt een impact/ease evaluatie gedaan per subgroep. In Hoofdstuk 5 wordt vervolgens het geheel samengevat en op basis van dat overzicht worden de conclusies voor vervolgstappen getrokken.

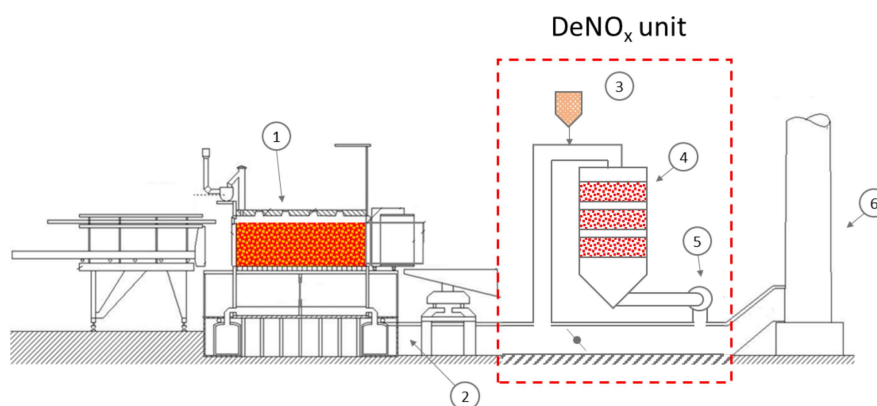
4.1 Geïntegreerde of nageschakelde DeNO_x-installatie

Een significante reductie van NO_x (theoretisch tot 90%) kan worden bereikt door “Selective Catalytic Reduction” (SCR) of “Selective Non-Catalytic Reduction” (SNCR) van stikstof verbindingen welke gebruik maakt van reducerende stoffen in de rookgassen van de kooksfabriek ^{[1][7][11]}. Hoewel SCNR in theorie net als SCR een reductierendement van 90% kan halen, blijft dit in praktijk dikwijls beperkt tot 30 tot 70%. De redenen daarvoor zijn de complexe procesbeheersing: temperatuur, verblijftijd en menging.

Bij DeNO_x-installaties worden de stikstofverbindingen gereduceerd met behulp van ammoniak of ureum tot stikstof en water. In het geval van SCR wordt meestal vanadiumpentoxide (V₂O₅) of wolfraam (WO₃) op een titaniumoxide drager (TiO₂) als katalysator gebruikt. De optimale reactie temperatuur ligt tussen de 300 °C en 400 °C. Om deze temperatuur van het rookgas te bereiken zal de regenerator minder efficiënt bedreven moeten worden, met als gevolg een hogere energiebehoefte en navenante CO₂ productie.

In het SNCR proces wordt bij veel hogere temperaturen gewerkt om de reactie te laten plaatsvinden. Het temperatuurvenster (800 °C – 950 °C) luistert nauw: bij een te hoge temperatuur oxideert de NH₃ juist tot extra NO en bij een te lage temperatuur wordt de hoeveelheid onverbruikte NH₃ snel groot. Deze techniek zou terugwinning van warmte met de huidige regeneratoren onmogelijk maken en is niet in te passen in een bestaande kooksfabriek.

Het alternatief, de SCR heeft een enorme CAPEX (██████████ per unit)^[1], dit maakt het een van de minst aantrekkelijke methodes voor NO_x reductie.



Figuur 6 : Impressie van een SCR installatie: (1) kooksbatterij, (2) rookgaskanaal, (3) ammoniak injectie, (4) reactiekamer van SCR-unit; (5) gaszuiger; (6) batterijschoorsteen.

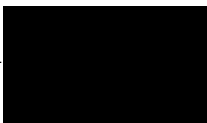
Daarnaast is het realiseren van SCR-installaties in een bestaande fabriek met vier schoorstenen uiterst complex en technische zeer moeilijk. Praktisch bezwaar is dat er in de buurt van de schoorstenen geen ruimte is voor de vrij grote SCR installatie (zie figuur 4). Ook zou het aansluiten op bestaande stooksystemen van KGF1 betekenen dat er dagen of mogelijk weken niet gestookt kan worden. De batterijen zouden tijdelijk “ge-cold-idled” (leegzetten zonder stoken) moeten worden. Dit zal zeer waarschijnlijk aanzienlijk schade aan het vuurvast opleveren als gevolg door het afkoelen en krimp.

Vervolgens zal het opnieuw opstoken van de batterijen en vullen, met zeer hoge waarschijnlijkheid ernstige en onacceptabele emissie tot gevolg hebben door de vuurvastschade.

Tijdens het bedrijf met een overmaat aan ammoniak zou het netto-effect op de volksgezondheid en biodiversiteit negatief kunnen uit pakken ^[7]. De overmaat is nodig om de reductie van NO_x op een

significant hoog niveau te krijgen, echter de overmaat NH_3 zal de schoorsteen verlaten en de omgeving belasten.

Er zijn bij de geraadpleegde (externe) deskundigen geen voorbeelden bekend van Europese kooksfabrieken met een nageschakelde De NO_x -installaties, toegepast bij een bestaande fabriek. Dit beeld wordt bevestigd door de BAT Bref ^[1] waarin wordt gesteld dat SCR alleen toepasbaar is op nieuwe fabrieken. Enkele voorbeelden van SCR bij een kooksfabriek zijn in Japan in bedrijf geweest maar inmiddels allemaal uit bedrijf genomen.

Methode / Techniek	Reductie concentratie NO_x	Reductie vracht NO_x	Verhoging CO_2 - uitstoot	Technische complexiteit / haalbaarheid	Kosten
SCR	60 - 80 %	60 - 80 %	0 kton	Onmogelijk	
SNCR	30 - 70 %	30 - 70 %	0 kton	Onmogelijk	

Tabel 2 : Impact / Ease evaluatie

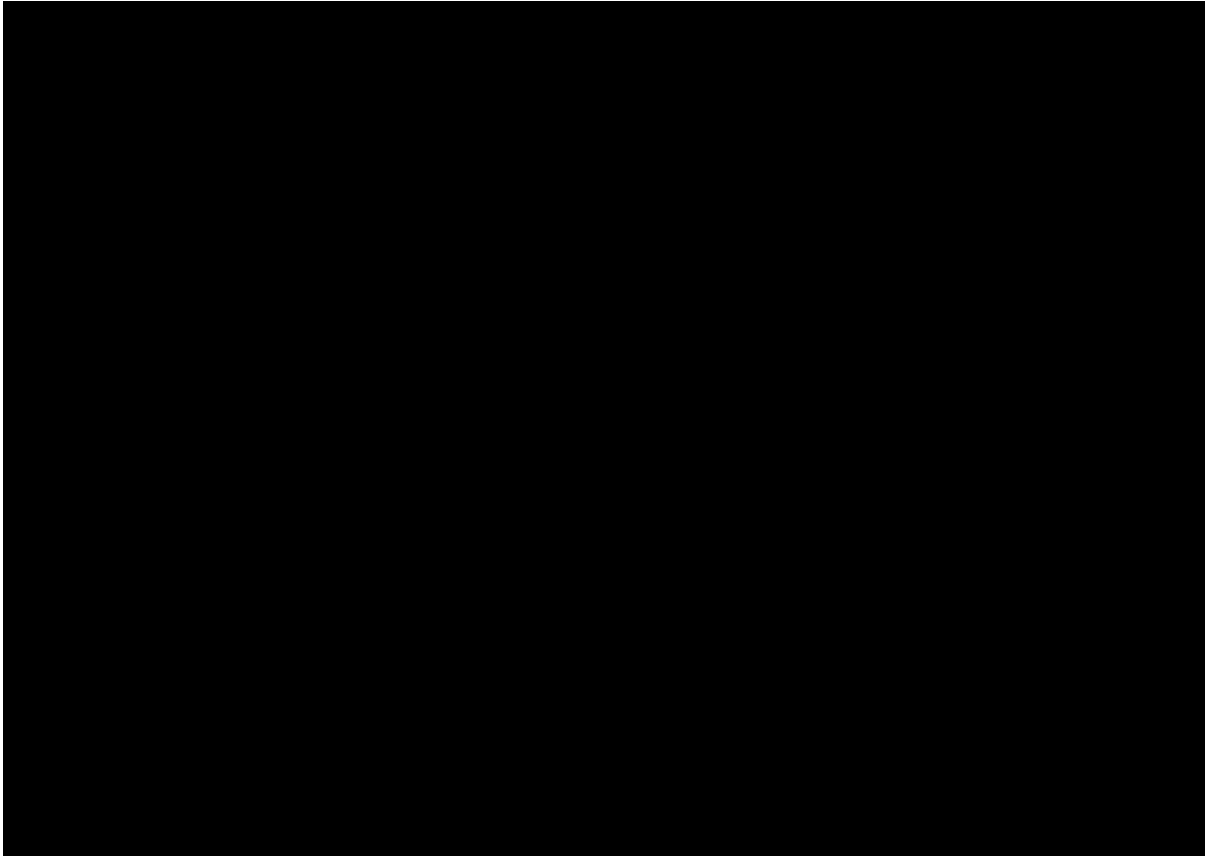
4.2 Alternatieve of aangepaste branders

Een kooksfabriek bestaat globaal uit een viertal niveaus (zie Figuur 7). Op het eerste niveau, de stookkelder, bevinden zich de stook- en rookgasleidingen. Operators kunnen hier het stookstelsel instellen, bijvoorbeeld door diafragma's te vergroten of verkleinen per brander.

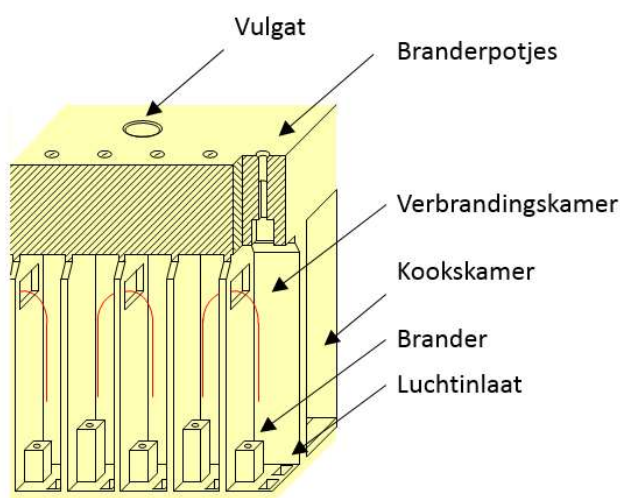
Op het tweede niveau bevinden zich de regeneratoren die tot doel hebben energie uit de rookgassen terug te winnen en hiermee de verbrandingslucht voor te verwarmen.

De kookskamers en verbrandingswanden bevinden zich op het derde niveau. Een kooksbatterij bestaat afwisselend uit verbrandingswand en kookskamer. In de kookskamers wordt de steenkool gegaard tot kooks en in de verbrandingswand wordt het stookgas samen met de voorverwarmde lucht verbrand.

Het vierde niveau is het ovendek, waar de vulwagen rijdt en operators de branders kunnen controleren door het openen van branderpotjes.



De verbrandingswand is opgebouwd uit 24 verbrandingskamers, welke op hun beurt weer per paar met elkaar in verbinding staan. Kooksfabriek 1 heeft 6 batterijen met in totaal 238 kookskamers, en 244 verbrandingswanden. Het aantal branders komt hiermee op $24 \times 244 = 5856$ branders.



Figuur 8 : Doorsnede van een verbrandingswand

Aanpassen van alle branders om de vlam te verlengen kan alleen als de volledige wand wordt herbouwd. In een bestaande wand zijn de meeste branders niet te bereiken.

Dit zou zeer kostbaar zijn en mogelijk meer schade aanrichten dan goed doen. Hooguit een kwart van de branders zou dan aangepast kunnen worden met een effect van ~15% NO_x-reductie indien per brander meer dan 70% gereduceerd wordt.

Er zijn theoretische studies^[2] gedaan naar het aanbrengen van bijvoorbeeld pakking in de verbrandingskamer. Door het koelen en verlengen van de vlam lijkt een NO_x-reductie van ~40% mogelijk. In de praktijk is het plaatsen van een pakking echter ondoenlijk, als het keramische materiaal beschadigd raakt tijdens het inbrengen of in verloop van tijd degradeert, zal de brander verstopt raken en niet meer functioneren. De naastliggende branders zouden dan heter gestookt moeten worden om verstopte brander te compenseren met verhoogde NO_x uitstoot als gevolg. Indien een groot percentage van de branders verstopt raakt moeten ovens of zelfs batterijen uitbedrijf genomen met enorme consequenties voor de site.

Er is bij de geraadpleegde vuurvast- en materiaaldeskundigen geen materiaal bekend dat bestand is tegen de thermische shock als gevolg van het inbrengen bij een in bedrijf zijnde wand met hoge temperatuur vanuit de omgevingstemperatuur. Een keramisch opzet stuk die de vlam 1 à 2 meter zou verlengen is daardoor ook uitgesloten.

Bij ThyssenKrupp Industrial Solutions en DMT, specialistische firma's op het gebied van kookstechnologie, zijn geen voorbeelden bekend van het aanpassen van branders, in een bestaande fabriek, die in een lagere NO_x emissie resulteren.

Aan het verder bestuderen van voor- en nadelen van bijzondere type branders, zoals het type brander bij een anodebakkerij of OXY-fuel branders is om bovenstaande reden geen vervolg gegeven.

Methode / Techniek	Reductie concentratie NO _x	Reductie vracht NO _x	Verhoging CO ₂ -uitstoot	Technische complexiteit / haalbaarheid	Kosten
Andere branders	30 - 50 %	30 - 50 %	0 kton	Onmogelijk	
Aangepaste branders	30 - 50 %	30 - 50 %	0 kton	Onmogelijk	

Tabel 3 : Impact / Ease evaluatie

4.3 Toepassen van andere brandstoffen of mengsels

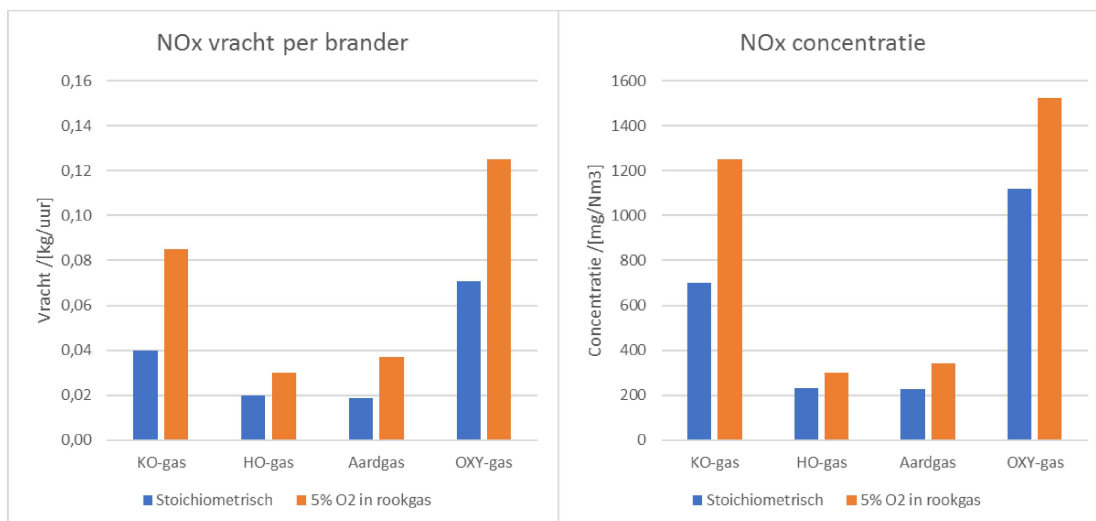
Het grootste deel van de batterijen van kooksfabriek 1 kunnen op zowel kooksgas (KO-gas) als hoogovengas (HO-gas) gestookt worden. Enkel batterijen 11 en 12 zijn hierop een uitzondering, deze kunnen tegenwoordig alleen nog op kooksgas gestookt worden.

Theoretisch zou op de batterijen van KGF1 ook aard- en/of OXY-gas gestookt kunnen worden. De Wobbe van OXY-gas, die bepalend is of de branders geschikt zijn, ligt tussen HO-gas en KO-gas in. Aardgas heeft een fors hogere Wobbe en zou eventueel verarmd moeten worden met HO-gas om het technisch mogelijk te maken.

De mogelijke opties die in dit onderzoek worden beoordeeld zijn:

- *Maximaal KO-gas stoken*
- *Maximaal HO-gas stoken*
- *OXY-gas*
- *Aardgas*
- *Hoogovengas verrijkt met aardgas*

In Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties ^[15] door R&D is een vergelijk gemaakt tussen de vier verschillende gassoorten qua NO_x vorming. De getallen van KO-gas en HO-gas komen niet exact overeen met de praktijk maar dient vooral om de bekende gassoorten met aardgas en OXY-gas te kunnen vergelijken.

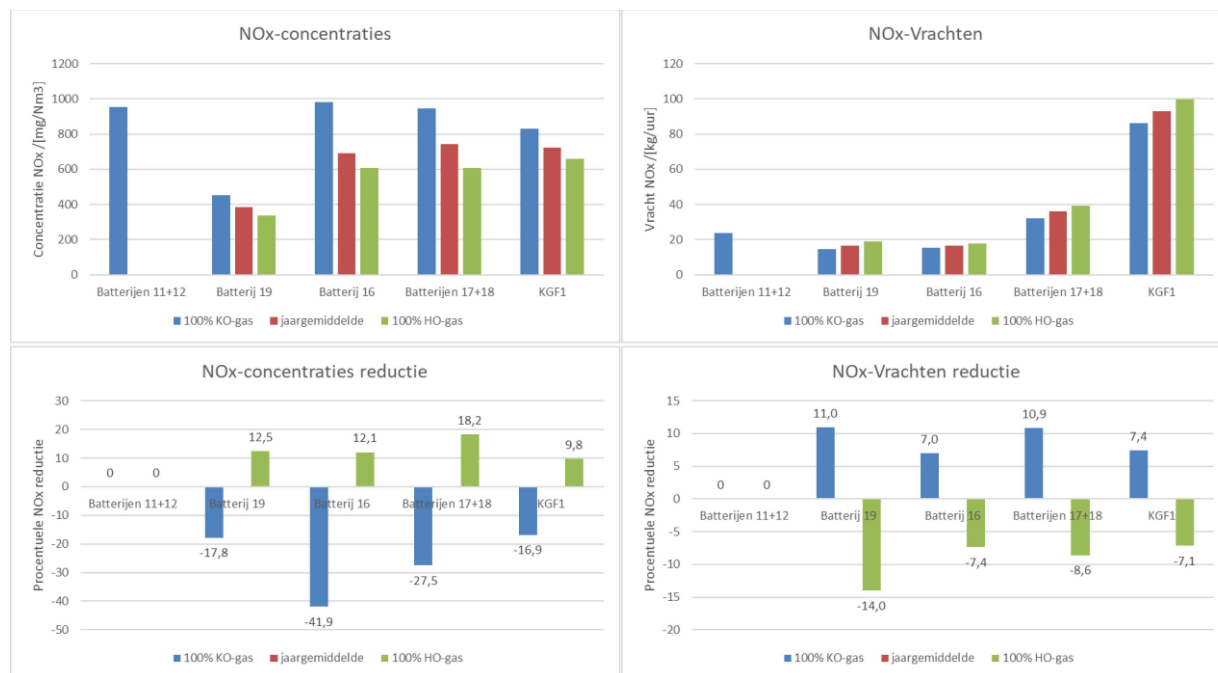


Figuur 9 : Theoretische NO_x emissie (concentratie en vracht) van KO-gas, HO-gas, aardgas en OXY-gas.

4.3.1 KO-gas of HO-gas

Traditioneel heeft hoogovengas de voorkeur omdat het hoger calorische kookgas dan elders op het terrein het duurdere aardgas kan verdringen.

Hoogovengas heeft een lagere vlamtemperatuur en daardoor is de NO_x vormingssnelheid en de NO_x concentratie lager als men op Hoogovengas stookt. Uit de praktijk blijkt wel dat de NO_x concentratie ongeveer 10 tot 20 % lager is als men op hoogovengas stookt, maar het rookgasvolume dat ontstaat bij de verbranding van hoogovengas is daarentegen een stuk hoger. Daarmee wordt per saldo de vracht (concentratie vermenigvuldigd met het rookgasvolume) 5 tot 15% hoger als men op hoogovengas stookt.



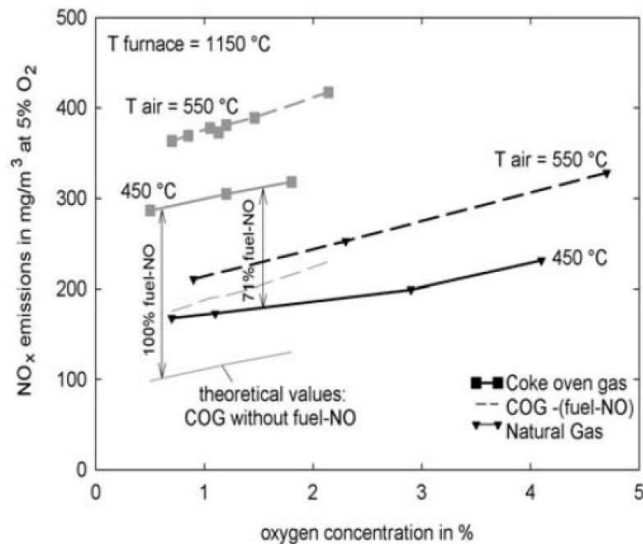
Figuur 10 : Theoretische NO_x emissie (concentratie en vracht) van 100% KO-gas en 100% HO-gas vs huidige situatie. Gebaseerd op data 2020 t/m 2022. Reductie is ten opzichte van huidige gemiddelde waarde.

100% KO-gas zou de NO_x-vracht verlagen (7,4%) maar de concentratie verhogen (16,9%).
100% HO-gas zou de NO_x-concentratie verlagen (9,8%) maar de vracht verhogen (7,1%).

Vanuit het huidige werkpunt zou geoptimaliseerd kunnen worden op minder NO_x vracht door vaker KO-gas te stoken of op lagere concentratie door vaker op HO-gas te stoken.

4.3.2 Aardgas

Volgens literatuur [6] is een reductie van NO_x-emissie mogelijk door het gebruik van aardgas. Reductie tot 50% worden geclaimd. Het ontbreken van NH₃ en HCN is hiervoor de basis. Ook Simulaties van R&D [15] tonen aan dat aardgas stoken bij KGF1 zeer waarschijnlijk een lagere concentratie en vracht NO_x tot gevolg zal hebben.



Figuur 11 : NO_x emissie van KO-gas (COG) en aardgas (NG) vs verbrandingslucht temperatuur en luchtvermaat^[6]

Voor de levering van aardgas is er Upstream voldoende capaciteit beschikbaar. Het is wel zo dat er extra leveringscapaciteit op het Zuid terrein zou moet worden gerealiseerd. Technisch gezien geen probleem maar contractueel mogelijk wel een uitdaging. Bij transporteren van Noord naar Zuid op het terrein is drukval technisch een uitdaging. Daarnaast is de aardgasverwarmingscapaciteit technisch beperkt tot de contract capaciteit. Er zouden dus aanzienlijke investeringen nodig zijn om aardgas stoken bij KGF1 mogelijk te maken.

Het niet kwijt kunnen van kooksgas is daarnaast ook nog een uitdaging: er is een veel groter gedeelte van de tijd meer kooksgas over en bij niet beschikbaarheid van de warmband 2 zal dit resulteren in fakkel, of telkens wisselen van gassoort.

Ook rijst de vraag of het niet slechts verplaatsing van NO_x emissie tot gevolg zal hebben, het KO-gas zal immers ergens verbrand worden en op slechts een beperkt aantal plekken zijn NO_x-reducerende maatregelen genomen.

4.3.3 OXY-gas

Het voordeel van OXY-gas is dat het geen stikstofcomponenten (HCN en NH₃) bevat, waardoor de [REDACTED] OXY-gas

[REDACTED] In de praktijk zou dus [REDACTED] effecten van dien op de [REDACTED]

Wetende dat juist een stabiele temperatuur van belang is voor realisatie van lage NO_x emissie, is stoken op OXY-gas niet wenselijk. En logischer alternatief om stookgas met voldoende energie-inhoud, zonder HCN en NH₃ te realiseren, zou zijn om HO-gas met aardgas te verrijken, deze optie wordt later in dit rapport behandeld.

Simulaties van R&D ^[15] laten zien dat er ook een mogelijkheid bestaat dat OXY-gas bij KGF1 tot een hogere NO_x concentratie en vracht leiden. Dit hangt waarschijnlijk samen met de hogere piek temperatuur in de vlam en de hoge CO₂ concentratie in het gas die bij hoge temperaturen reactieve radicalen kunnen vormen die met N₂ tot NO_x doorreageren

Ook hier moet de kanttekening gemaakt worden dat zodra KGF1 op OXY-gas zou gaan stoken, het KO-gas elders verbrand zal worden en op slechts een beperkt aantal plekken zijn NO_x-reducerende maatregelen genomen. Het zou dus zeer waarschijnlijk alleen een verschuiving van NO_x op het terrein tot gevolg hebben.

4.3.4 Effecten van veranderen gasbalans over de site

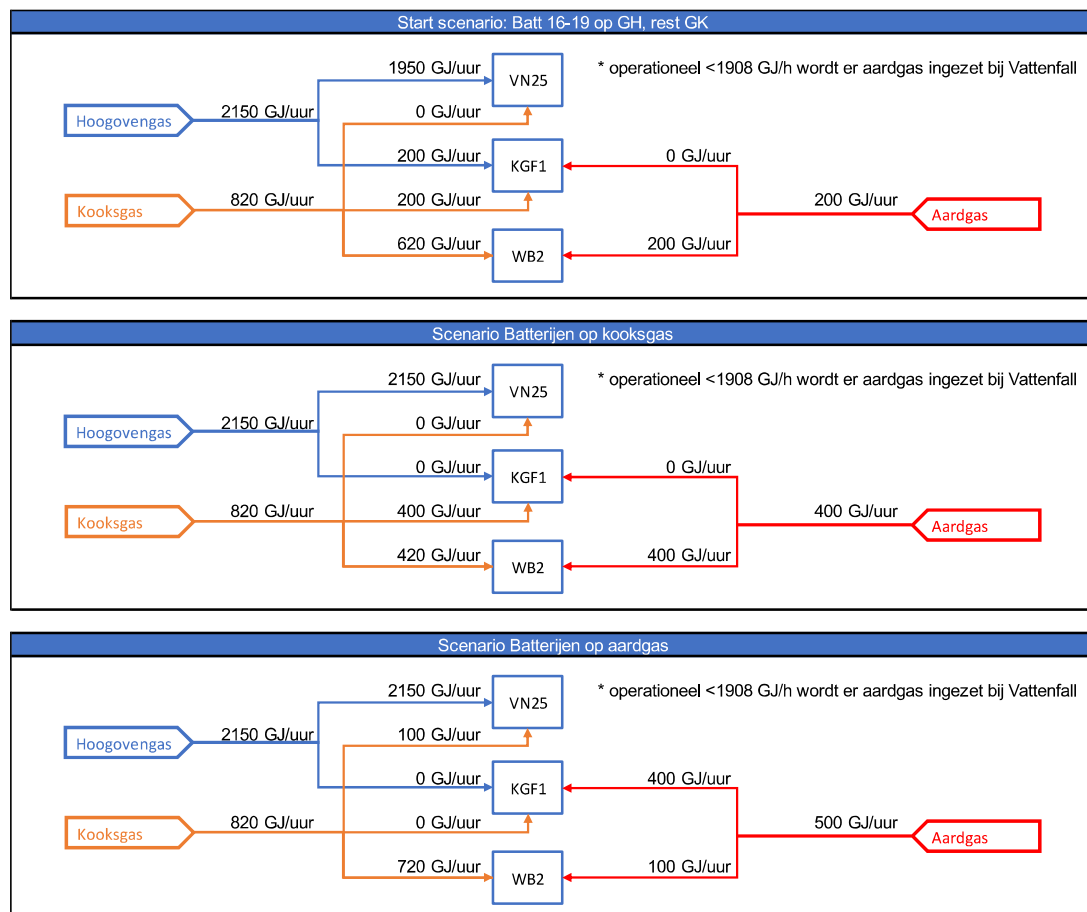
Om een gevoel te krijgen voor de impact van de meeste realistische alternatieve stookgas inzet, zijn drie mogelijke scenario's (met typische getallen) uitgewerkt door ENB.

1. KGF1 volledig op KO-gas
2. KGF1 volledig op aardgas
3. KGF1 verrijking van HO-gas met aardgas

Een inschatting moet gemaakt worden van:

- Hoeveel % van de tijd/volume kun je de met het vrijgekomen kooksgas aardgas verdringen
- Hoeveel % van de tijd/volume maak je met extra aardgas op de site uiteindelijk stroom bij Velsen 25 van Vattenfall

Bij Velsen 25 is het zo dat onder de 1908 GJ/uur de installatie wordt aangevuld met aardgas. (voor elke GJ productiegas onder de 1908 wordt er 0,9 GJ aardgas ingezet.). Typisch zitten we <50% onder de 1908 GJ/uur maar vaak is het ook maar beperkt eronder.



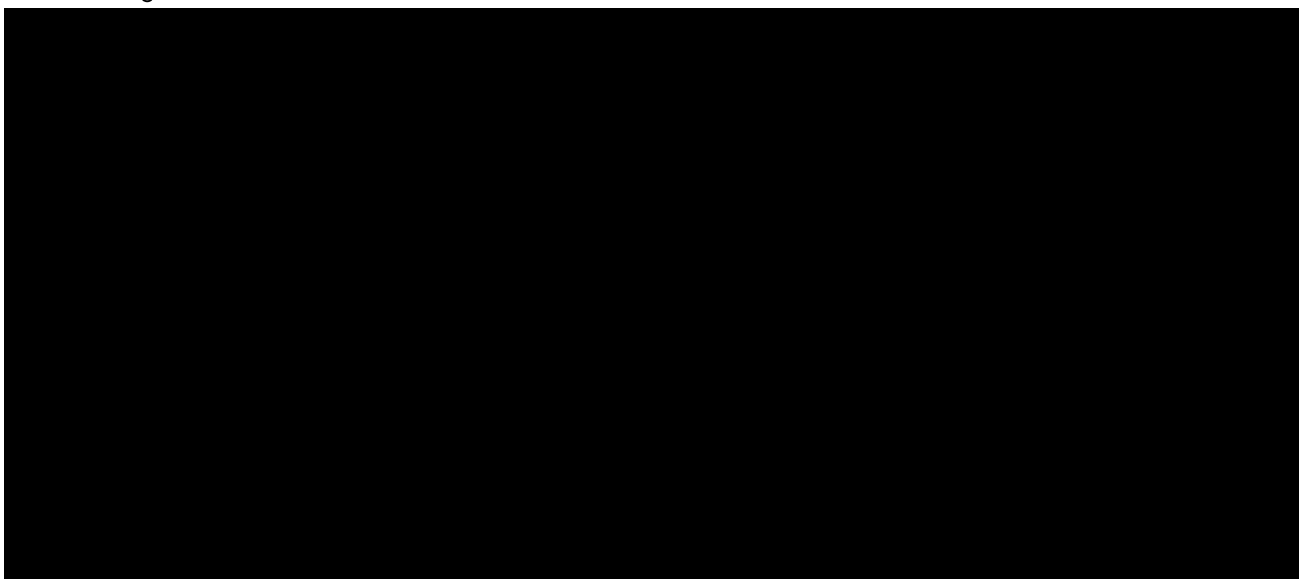
Figuur 12 : Gasbalans over de site

Scenario 1: Kookgasinzet ipv hoogovengas op de batterijen

Bij kookgas inzet ontstaat een verschil omdat je minder effectief bent in aardgas verdringen bij WB2. Extra aardgas bij WB2 en hoogovengas naar Vattenfall. Omdat je soms aardgas nodig hebt bij Vattenfall kun je nog een klein beetje aardgas verdringen. Aanname is dat je 25% van het volume aardgas mee kan verdringen (= 50 GJ/uur)

De impact van de verschuiving van 200 GJ zal tussen onderstaande scenario's liggen en is afhankelijk van het aardgas, CO₂, en stroom prijsniveau. Deze prijzen resulteren in een verschil tussen waarde om aardgas te verdringen of om stroom te produceren.

Historisch zit het verschil op [REDACTED], in de laatste forecast is het [REDACTED], de laatste maanden is het in de praktijk [REDACTED]. Om een range aan te geven is zijn hieronder wat verschillende aannames gedaan.



Hoogovengas gaat in dit geval naar Vattenfall, daar zal alle HCN ook in NO_x worden omgezet en de vracht dus omhoog gaan. Bij de WB2 wordt kookgas vervangen door aardgas. Volgens WB2 is er geen impact op NO_x emissie afhankelijk welke brandstof. (combinatie tussen temperaturen en DeNO_x)

Impact kookgas naar KF1 in plaats van Hoogovengas					
Total impact	GJ/h	200			Input
					Output
Aardgasverdring Vattenfall	%	25,00%	40,00%	10,00%	25,00%
Stroomproductie ipv aardgas verdringing	%	75,00%	60,00%	90,00%	75,00%
Extra CO2	ton/jaar	74.110	59.288	88.932	74.110

Price difference [REDACTED] is based on average forecast operational energy prices. 2022Q1

[REDACTED]

Scenario 2: Aardgasinzet ipv hoogovengas en kooksgas op de batterijen

Bij aardgas inzet zal de impact zijn dat het hoogovengas dat vrijkomt naar Vattenfall zal gaan en van het kooksgas zal een gedeelte naar WB2 gaan en een gedeelte naar Vattenfall.

Voor windverhitter verrijking HO7 is uitgewerkt dat het kooksgas wat vrij kwam 72% van de tijd naar WB2 gaat. Dat project veroorzaakt al dat het minder zal zijn voor KGF1. Als we deze aanname echter wel gebruiken kan van de 200 GJ/h extra kooksgas 72% naar de WB2. Dat is 144 GJ/uur. Nog rekening houdend dat er nog wel een klein beetje aardgas verdrongen wordt bij VN25 is de aanname dat 40% van de 400 GJ/uur wordt gebruikt voor aardgas verdringing.

Impact Aardgas naar KF1 in plaats van Kooksovens/Hoogovens						
Total impact	GJ/h	400				Input
						Output
Kooksgas naar WB2	%	40,00%	40,00%	25,00%	40,00%	40,00%
Kooksgas/hoogovengas naar Vattenfall	%	60,00%	55,00%	75,00%	60,00%	60,00%
Fakkel	%	0,00%	5,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Extra CO2	ton/jaar	118.575	108.694	148.219	118.575	118.575

Price difference is based on average forecast operational energy prices. 2022Q1

Scenario 3: verrijking van HO-gas met Aardgas

Is een tussenvorm van de base en scenario 2. Door de verrijking van HO-gas met aardgas te doen in plaats van KO-gas kan een groot deel van de brandstof NO_x worden voorkomen.

Impact Aardgas naar KF1						
Total impact	GJ/h	400				Input
						Output
WB2	%	72,00%	86,00%	50,00%	72,00%	72,00%
Vattenfall	%	28,00%	14,00%	45,00%	28,00%	28,00%
Fakkel	%	0,00%	0,00%	5,00%	0,00%	0,00%
Extra CO2	ton/jaar	55.335	27.668	88.932	55.335	55.335

Price difference 6,85 is based on average forecast operational energy prices. 2022Q1

Methode / Techniek	Reductie concentratie NO _x	Reductie vracht NO _x	Verhoging CO ₂ -uitstoot	Technische complexiteit / haalbaarheid	Kosten
Maximaal KO-gas stoken	Negatief effect	5 – 10%	50 – 100 kton/jaar	Uitvoerbaar	
Maximaal HO-gas stoken	5 – 10%	Negatief effect	< 10 kton/jaar	Uitdagend	
OXY-gas	Negatief effect / tenminste < 5%	Negatief effect / tenminste < 5%	50 – 100 kton/jaar	Lastig	
Aardgas	30 – 50%	30 – 50%	> 100 kton/jaar	Lastig	
HO-gas verrijken met Aardgas	0 – 5%	0 – 5%	50 – 100 kton/jaar	Lastig	

Tabel 4 : Impact / Ease evaluatie

4.4 Eigenschappen van het stookgas en de verbrandingslucht

Brandstoffen die gebonden stikstof bevatten in de vorm van HCN en NH₃ zullen bijdragen aan de NO_x-emissie. Afhankelijk van de verbrandingsconditie zal een deel van het HCN en NH₃ reageren tot NO_x. De brandstof NO_x is in tegenstelling tot thermische NO_x minder afhankelijk van de adiabatische vlamtemperatuur.

Voor brandstoffen met significante concentraties van HCN en NH₃ kan 30 tot 50% van de totale emissie brandstof NO_x zijn.

Deze waarden gelden voor lage lucht voorverwarm temperaturen tot 200 °C. Bij hogere lucht voorverwarm temperaturen tot 1000 °C is brandstof NO_x minder dominant en vertegenwoordigt 10% tot 30% van de totale NO_x-emissie.

De onderzochte opties om het stookgas en de verbrandingslucht te beïnvloeden zijn:

- *Minder Cyanide in KO-gas*
- *Minder Ammoniak in KO-gas*
- *Meer BTX in KO-gas*
- *Waterinjectie in verbrandingslucht en/of stookgas*
- *Temperatuur van het stookgas*
- *Recirculeren van rookgas*

Om te kunnen beoordelen wat de meest effectieve methode is voor KGF1 om NO_x te reduceren is naast regressie techniek op procesdata ook een parameterstudie verricht door R&D ^[15] met behulp van CFD in combinatie met Emission Reactor Networks (een onderling verbonden netwerk van perfect Plug-flow reactoren).

Parameter	Minimale waarde	Maximale waarde	Eenheid
NH ₃ in stookgas	0	0,2	g/Nm ³
HCN in stookgas	0	5	g/Nm ³
CO ₂ in stookgas	0	100	g/Nm ³
H ₂ O in stookgas	0	100	g/Nm ³
H ₂ O in verbrandingslucht	0	100	g/Nm ³
Stookgas temperatuur	20	70	°C
Verbrandingslucht temperatuur	1090	1140	°C

Tabel 5 : De onderzochte parameters en het onderzochte werkgebied.

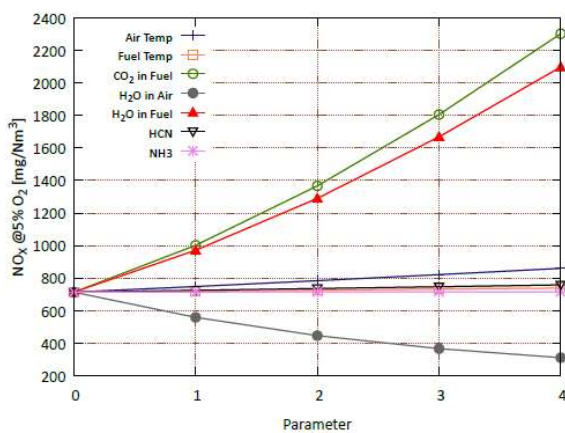
De onderzochte parameters zijn met in Tabel 5 genoemde minimale en maximale waarden met 3 tussenstappen voor KO-gas, HO-gas, aardgas en OXY-gas onderzocht bij stoichiometrische verbranding en bij een luchtvermaat van 5%. In de hierna volgende paragrafen worden de conclusies en resultaten besproken.

4.4.1 Resultaten parameterstudie KO-gas

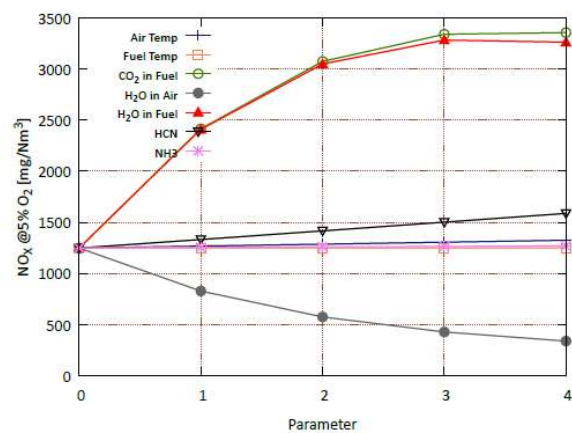
Opvallend is dat de simulaties laten zien dat het toevoegen van CO_2 en H_2O aan het KO-gas kan leiden tot een verhoging van het NO_x concentratie en vracht. Het vereist meer onderzoek om de oorzaak voor dergelijk gedrag te doorgronden, maar het kan veroorzaakt worden een toename van de radicalen.

Indien er water aan de verbrandingslucht in plaats van het KO-gas wordt toegevoegd is er een significante verlaging. Overige parameters lijken nauwelijks invloed te hebben.

De bijdrage van NH_3 en HCN op de NO_x -vorming is volgens deze studie relatief beperkt en enigszins afhankelijk van de zuurstofovermaat. Dit is in tegenspraak met de veronderstelling dat alle NH_3 en HCN per definitie volledig wordt omgezet in NO .

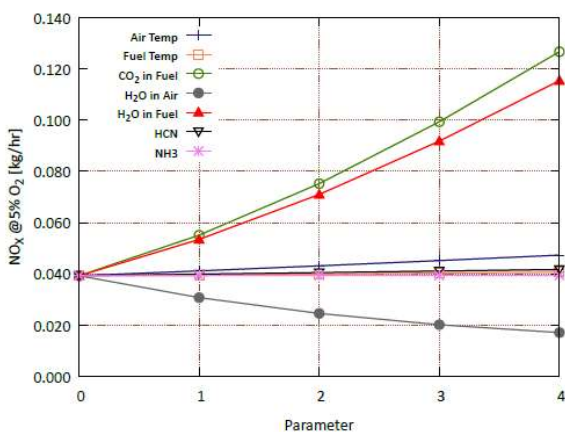


(c) KO Stoichiometric

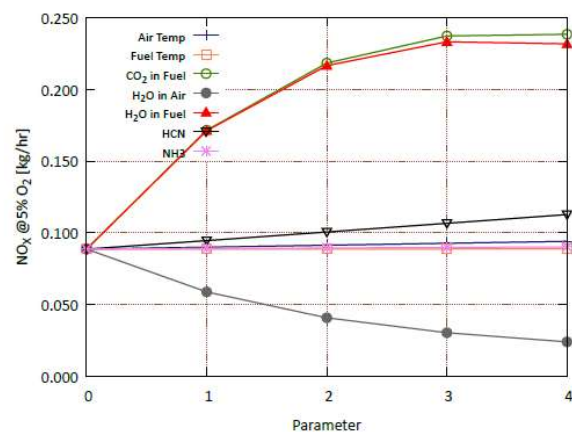


(d) KO Excess Air

Figuur 14 : NO_x concentratie na verbranding van KO-gas bij stoichiometrische en 5% luchtovermaat



(c) KO Stoichiometric



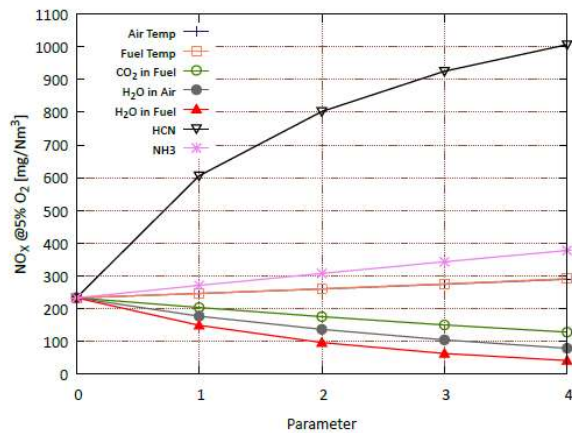
(d) KO Excess Air

Figuur 15 : NO_x vracht per brander na verbranding van KO-gas bij stoichiometrische en 5% luchtovermaat

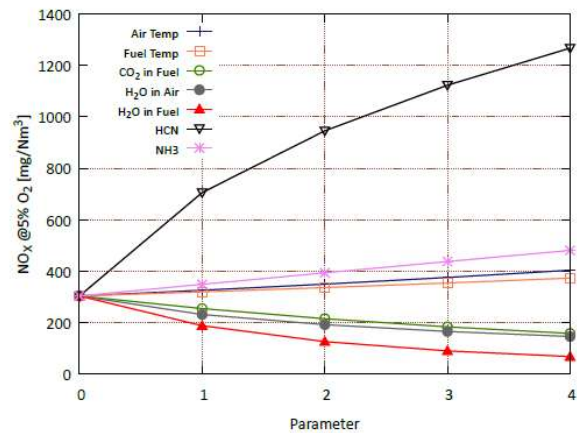
4.4.2 Resultaten parameterstudie HO-gas

Bij HO-gas is opvallend dat met name HCN een dominante factor is voor de vorming van NO_x en veel meer effect heeft dan NH_3 . Het onderzochte HCN gebied is veel hoger dan in de praktijk normaal is bij HO-gas, er is een zelfde range gebruik als bij KO-gas om het vergelijkbaar te houden.

Het toevoegen van H_2O aan dit stookgas leidt hier juist wel tot verlaging van de NO_x . Ook het CO_2 gehalte heeft een negatief effect op de NO_x vorming in tegenstelling tot het mechanisme van KO-gas stoken.

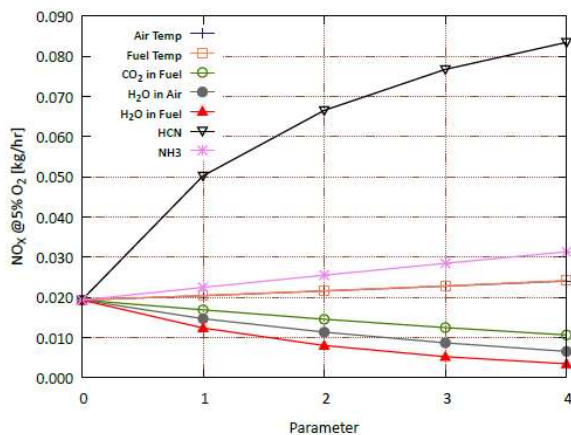


(e) HO Stoichiometric

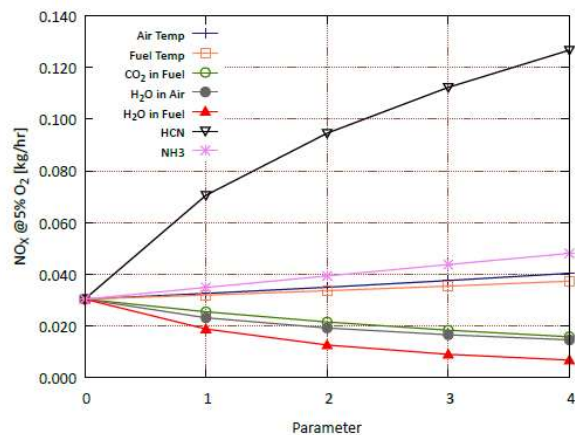


(f) HO Excess Air

Figuur 16 : NO_x concentratie na verbranding van HO-gas bij stoichiometrische en 5% luchtvermaat



(e) HO Stoichiometric

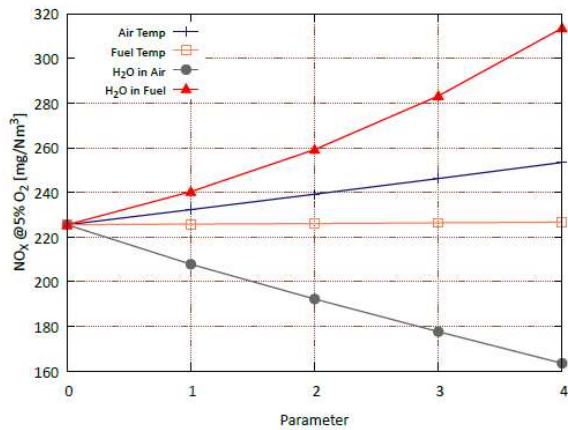


(f) HO Excess Air

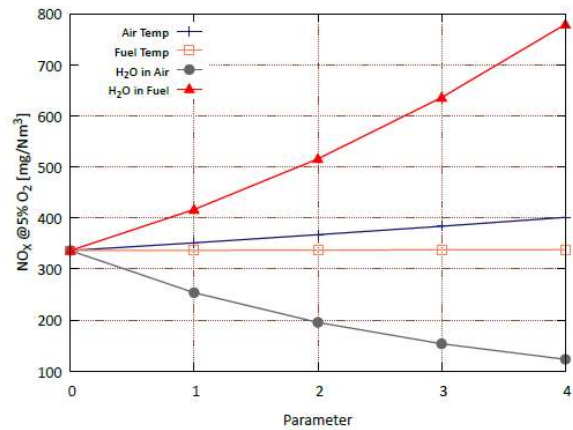
Figuur 17 : NO_x vracht per brander na verbranding van HO-gas bij stoichiometrische en 5% luchtvermaat

4.4.3 Resultaten parameterstudie aardgas

Bij aardgas is, gezien de samenstelling van het gas, een beperkte set parameters bekeken. Ook hier is de enorme tegenstelling in het effect van H_2O in het stookgas en de verbrandingslucht opvallend. Mocht ooit op aardgas gestookt gaan worden is het belangrijk droog gas te gebruiken.

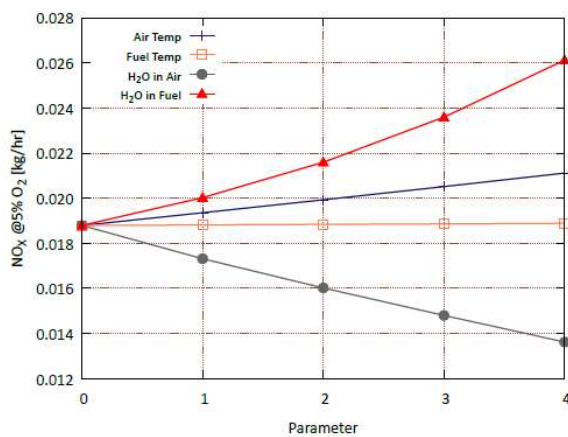


(a) NG Stoichiometric

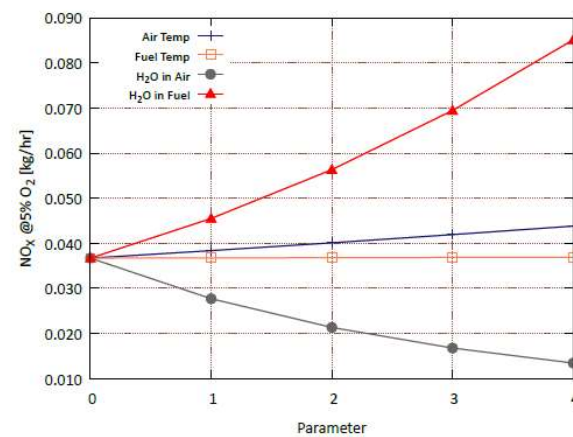


(b) NG Excess Air

Figuur 18 : NO_x concentratie na verbranding van aardgas bij stoichiometrische en 5% luchtvermaat



(a) NG Stoichiometric



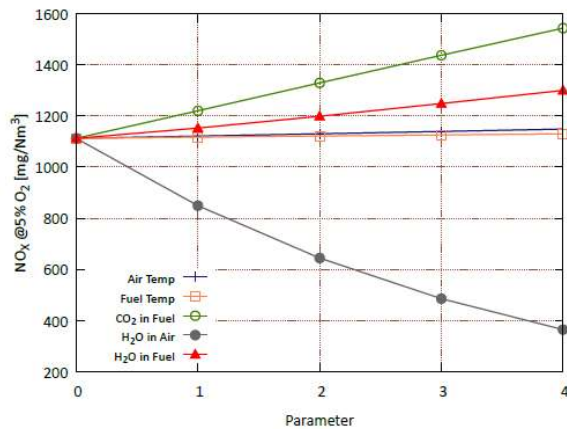
(b) NG Excess Air

Figuur 19 : NO_x vracht per brander na verbranding van aardgas bij stoichiometrische en 5% luchtvermaat

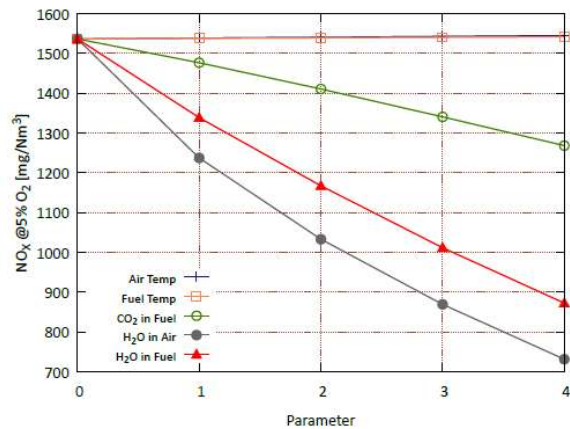
4.4.4 Resultaten parameterstudie OXY-gas

Ook bij OXY-gas zijn gezien de samenstelling HCN en NH_3 niet als parameters meegenomen in de studie.

Bij OXY-gas is de grootste factor wederom het H_2O gehalte in de verbrandingslucht. Voor de vracht is ook water in het stookgas zeer relevant, terwijl het voor de concentratie een negatief effect kan geven.

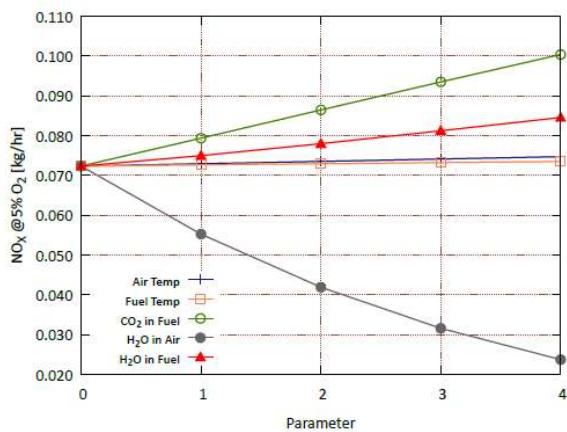


(c) OXY Stoichiometric

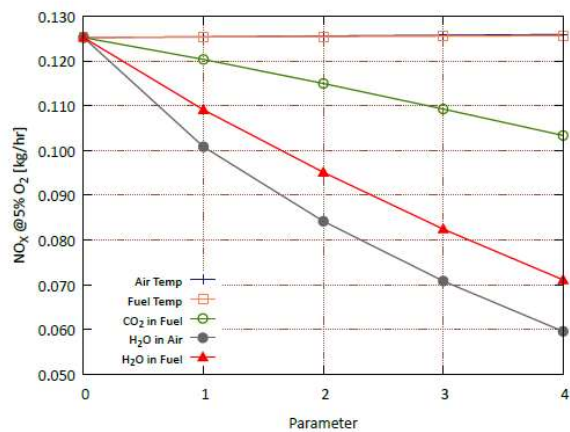


(d) OXY Excess Air

Figuur 20 : NO_x concentratie na verbranding van OXY-gas bij stoichiometrische en 5% luchtvermaat



(c) OXY Stoichiometric



(d) OXY Excess Air

Figuur 21 : NO_x vracht per brander na verbranding van OXY-gas bij stoichiometrische en 5% luchtvermaat

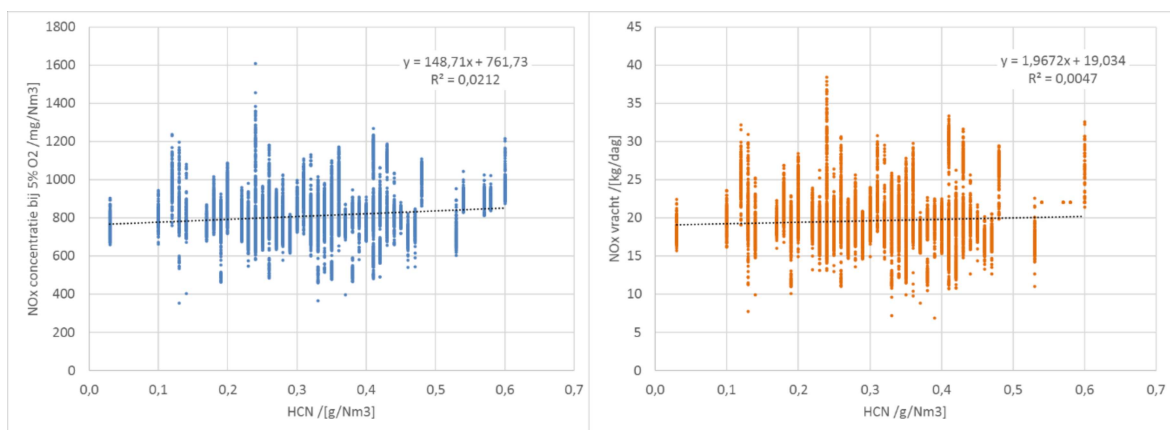
4.4.5 Minder Cyanide in KO-gas

Tata Steel Research & Development heeft in 2020 een onderzoek^[13] uitgevoerd naar de mogelijkheden van procesoptimalisatie voor de verwijdering van HCN uit kooksovengas bij KGF1.

Het hoofddoel van het onderzoek was om een beter begrip te krijgen van de verwijdering van HCN in het sulfibanproces van Kooksfabriek 1 en om het effect van verschillende procesparameters op de verwijdering van HCN te onderzoeken. Dit is gedaan door een op evenwichtstoestand gebaseerd model van het sulfibanproces in Aspen Plus te ontwikkelen. Er werden praktijkproeven uitgevoerd om het huidige niveau van HCN-verwijdering in het Sulfiban-proces te beoordelen en om de resultaten van het Aspen-model te valideren.

De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat er nauwelijks haalbare procesoptimalisatie-opties in het Sulfiban-proces zijn om de HCN-verwijdering te verbeteren. De meeste opties om de HCN-verwijdering te verbeteren (d.w.z. hogere reboiler duty, MEA-stroomsnelheid en MEA-concentratie) hebben een negatief effect op de benedenstroomse zwavelzuurinstallatie en worden daarom niet als haalbare opties beschouwd. Het verhogen van de MEA-striptemperatuur verbetert de HCN-verwijdering zonder het zwavelzuurplan te beïnvloeden, maar dit leidt slechts tot marginale winsten (5-10%).

Daarnaast laten de NO_x-vormingssimulaties van R&D ^[15] en de regressie analyse ook zien dat het effect van verlaagde HCN concentratie in KO-gas op de NO_x concentratie en vracht beperkt is.



Figuur 22 : NO_x concentratie en vracht vs HCN concentratie in KO-gas bij schoorsteen 11

De grafieken in Figuur 22 laten de regressie analyse resultaten zien van de HCN concentratie in KO-gas vs de NO_x concentratie en vracht. Hieruit is ook op te maken dat er een afhankelijkheid is maar zeer beperkt relevant binnen het werkgebied.

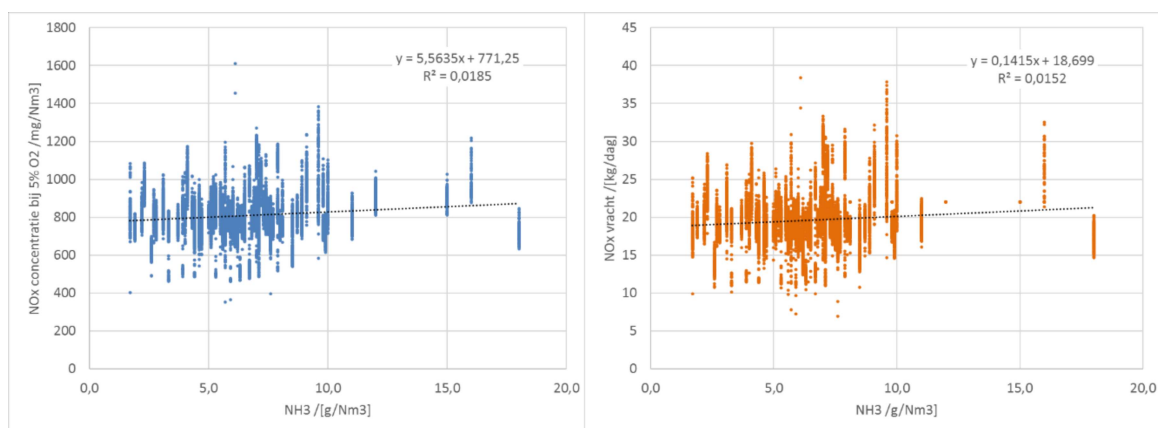
Hogere uitwassing van HCN uit KO-gas lijkt niet veel NO_x reductie op te kunnen leveren.

4.4.6 Minder Ammoniak in KO-gas

In verschillende gas- en vloeistofanalyseproeven is waargenomen dat het NH_3 -gehalte in het gas na de MEA-scrubber hoger is dan vóór de MEA-scrubber ^[12]. Dit komt waarschijnlijk door inefficiënte afvang van mist in de top van de MEA-scrubber, waarbij kleine MEA-druppeltjes in het gereinigde gas worden meegevoerd en in de gasanalyse als NH_3 worden gemeten. Verbetering van de demister zou het meesleuren van MEA-druppeltjes in het gereinigde gas verminderen en daarmee het gemeten NH_3 -gehalte verlagen. Mogelijkheden om de demister van de MEA absorber te verbeteren moeten nog worden onderzocht.

Verhoging van de MEA-striptemperatuur resulteert^[12] in een verlaging van 2-10 mg/Nm^3 NO_x , goed voor 1-2% van de totale NO_x -concentratie en vracht bij kooksfabriek 1, een zeer beperkt effect.

Daarnaast laten ook de NO_x -vormingssimulatie van R&D ^[15] en de regressie analyse zien dat het effect van verlaagde NH_3 concentratie in KO-gas op de NO_x concentratie en vracht beperkt is.



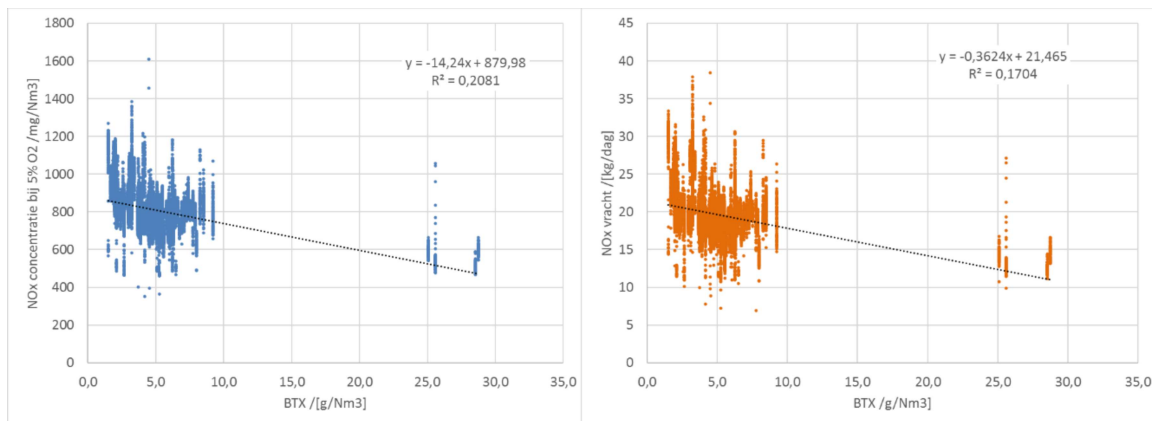
Figuur 23 : NO_x concentratie en vracht vs NH_3 concentratie in KO-gas bij schoorsteen 11

De grafieken in Figuur 23 laten de regressie analyse resultaten zien van de NH_3 concentratie in KO-gas vs de NO_x concentratie en vracht. Hieruit is ook op te maken dat er een afhankelijkheid is maar zeer beperkt relevant binnen het werkgebied.

Hogere uitwassing van NH_3 uit KO-gas lijkt niet veel NO_x reductie op te kunnen leveren.

4.4.7 Meer BTX in KO-gas

Een hoger BTX gehalte in het kookgas laat een significante daling in NO_x-concentratie en vracht zien. Onderstaande data van schoorsteen 11, batterij 11 en 12, laat zien dat bij stilstanden van de BTX-installatie, dus geen uitwassing, een reductie van 25 – 30% NO_x concentratie en vracht wordt gerealiseerd.



Figuur 24 : NO_x concentratie en vracht vs BTX concentratie in KO-gas bij schoorsteen 11

Indien men echter volledig zou stoppen met uitwassen levert dit waarschijnlijk problemen op bij de afnemers van het KO-gas. Bij verbranding van BTX kan grafiet op de branders afgaan zitten, structurele hoge BTX-gehalten zijn daarom niet wenselijk. Met een duurproef zouden lange termijn effecten bij de afnemers moeten worden onderzocht. Een gehalte van 10 g/Nm³ BTX in het reingas zou op basis van realisaties in het verleden mogelijk lijken. Deze stap zou een reductie van 5 tot 10% NO_x kunnen opleveren.

om 5 tot 10% NO_x te reduceren in concentratie en vracht bij KO-gas stoken.

Het verbranden van de BTX met het stookgas zou echter wel een verhoging van de CO₂ uitstoot van de hele site als gevolg hebben. De eerste inschatting is een verhoging van ruim 10 kton aan CO₂. De verwachte kosten van deze extra CO₂ emissie zijn meegenomen in de financiële evaluatie.

4.4.8 Waterinjectie in verbrandingslucht en/of stookgas

In 2021 is door TATA Steel Research & Development een literatuurstudie^[5] uitgevoerd naar de mogelijkheid om NO_x emissie te reduceren door stoom injectie.

Uit deze literatuurstudie blijkt dat stoom een chemische en fysische invloed heeft op de productie van NO_x in een vlam. Toevoeging van stoom aan een brandstof-lucht mengsel kan de productie van NO_x verminderen door chemische en fysische actie bij gelijkblijvende adiabatische vlamtemperatuur.

De recente resultaten van de R&D CFD simulaties beschreven in paragraaf 4.4.1, laten ook zien dat waterverneveling in de verbrandingslucht een zeer effectieve methode lijkt om NO_x vorming te verlagen. Met 15 g/Nm³ water is de verwachte reductie 20% in concentratie en vracht bij stoken op KO-gas.

Nadeel is dat het energie-verbruik van KGF1 zal stijgen door minder efficiënt stoken. Voor KO-gas betekent dit een stijging van 2%

Bij HO-gas stoken is het aantrekkelijker om water te vernevelen in het stookgas, dan is het effect het grootst blijkt uit de simulaties van R&D ^[15]. Om een reductie van ongeveer 20% te halen moet 12,5 gram water per Nm³ stookgas worden toegevoegd. Het stoken zal hierdoor 1,2% minder efficiënt zijn.

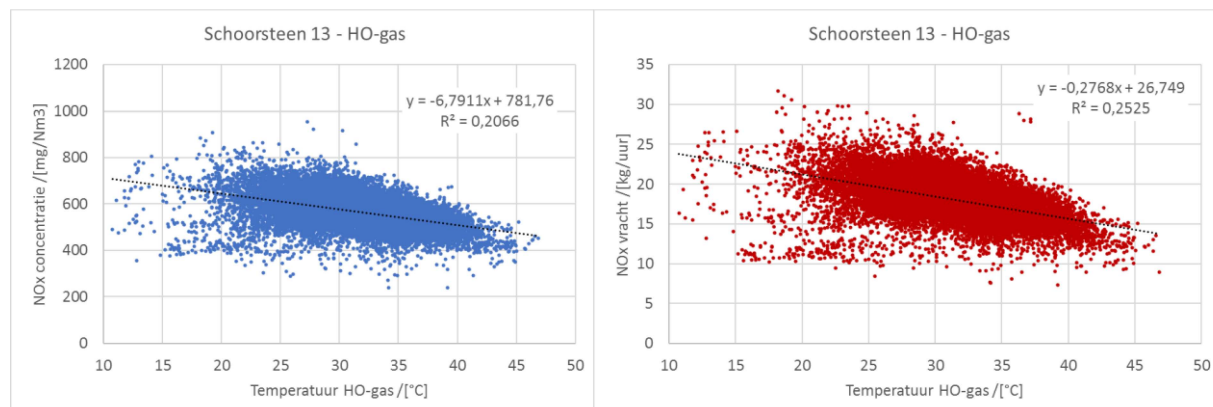
Ook de CO₂ uitstoot zal hierdoor significant toenemen. Bij KO-gas stoken jaargemiddelde 3,4 kton en bij HO-gas stoken 9,4 kton.

4.4.9 Temperatuur van het stookgas

De temperatuur van het KO-gas heeft zeer beperkte invloed op NO_x vorming blijkt uit de simulaties van R&D ^[15] (zie paragraaf 4.4.1). De correlaties gevonden bij regressie analyse zijn waarschijnlijk het gevolg van het BTX gehalte, die ook een sterk verband met temperatuur en NO_x hebben.

Bij HO-gas is een grotere invloed te verwachten. Volgens de simulaties van R&D (zie paragraaf 4.4.2) zou een lage temperatuur van het HO-gas tot een lagere NO_x vorming moeten leiden.

Uit de regressie analyse komt echter het tegenovergestelde verband. Er is een sterk negatief verband tussen de temperatuur van het HO-gas en de NO_x concentratie en vracht bij schoorsteen 13 en 14.



Figuur 26 : NO_x concentratie en vracht schoorsteen 13 vs de HO-gas temperatuur

De temperatuur van HO-gas is sterk afhankelijk van de afkoeling tijdens transport van de hoogovens naar KGF1. Vandaar dat er een sterke seizoensinvloed zichtbaar is in de data.

Er zijn twee mogelijke verklaringen voor het gevonden verband tussen NO_x vorming en HO-gas temperatuur.

- (1) Het HO-gas is verzadigd met waterdamp. Water heeft zoals in paragraaf 4.4.8 beschreven een significante invloed op NO_x vorming. Bij 20 °C bevat verzadigd HO-gas ongeveer 20 g/Nm³, terwijl het bij 40 °C verzadigd is met ongeveer 60 g/Nm³. Dit verschil van 40 g/Nm³ zou de NO_x reductie kunnen verklaren.
- (2) De samenstelling van het HO-gas is temperatuurafhankelijk en varieert dus ook met de seizoenen. Enige afhankelijkheid is te zien in de data voor N₂, CO, CO₂ en HCN, maar lijkt niet significant en geeft geen verklaring voor de grote stap in NO_x vorming bij verbranding in de kooksfabriek.

Hieraan gekoppeld zou de variatie van de luchtvochtigheid in de seizoenen ook nog een bijdrage kunnen leveren, maar waarschijnlijk in mindere mate.

Het vergt meer onderzoek om zekerheid te krijgen over de gevonden relaties en haalbaarheid van structureel verhogen van de temperatuur van het HO-gas als maatregel om NO_x concentratie en vracht te verlagen.

De verwachte kosten zijn een stuk lager dan het bewust toevoegen van een nevel, omdat er geen verdampingswarmte nodig is. Bij een stap van jaargemiddelde 30 °C naar jaargemiddelde 40 °C zou 5 tot 15% NO_x gereduceerd kunnen worden [REDACTED]

Nadeel is dat het energieverbruik van KGF1 zal stijgen door minder efficiënt stoken. Voor warmer HO-gas betekent dit een stijging van 0,25% gasverbruik met 1,8 kton meer CO₂ uitstoot.

4.4.10 Recirculeren van rookgas

Theoretisch is het recirculeren een effectieve manier om NO_x te reduceren. De vlamtemperatuur wordt verlaagd door een zuurstofarm lucht/rookgas-mengsel. Reducties van 20 tot 80% ^[10] worden in de literatuur geclaimd.

Om het rookgas te recirculeren dient echter een verbinding gemaakt te worden tussen twee branders of rookgas terug gevoerd te worden uit het rookgaskanaal naar de klepkasten. Beide opties zijn praktisch onmogelijk uit te voeren in bestaande fabrieken. Net als bij het aanpassen van de branders zou het aanpassen alleen kunnen als een batterij volledig opnieuw wordt gebouwd.

Methode / Techniek	Reductie concentratie NO _x	Reductie vracht NO _x	Verhoging CO ₂ -uitstoot	Technische complexiteit / haalbaarheid	Kosten
Minder Cyanide in KO-gas	0 – 5%	0 – 5%	0 kton/jaar	Lastig	
Minder Ammoniak in KO-gas	0 – 5%	0 – 5%	0 kton/jaar	Lastig	
Meer BTX in het KO-gas	5 – 15%	5 – 15%	10 kton/jaar	Uitvoerbaar	
Stoom- of waterinjectie in KO-gas of verbrandingslucht	20%	20%	< 10 kton/jaar	Uitdagend	
Temperatuur van het HO-gas	5 – 15%	5 – 15%	< 10 kton/jaar	Uitdagend	
Recirculeren van rookgas	30 – 50%	30 – 50%	10 – 25 kton/jaar	Onmogelijk	

Tabel 6 : Impact / Ease evaluatie

4.5 Aanpassen van procesinstellingen stookstelsel

Bij de in paragraaf 3.3 beschreven regressie analyse is naar voren gekomen dat een aantal procesinstellingen een significante invloed hebben op de concentratie en vracht geproduceerde NO_x. De beïnvloedbare instellingen zijn:

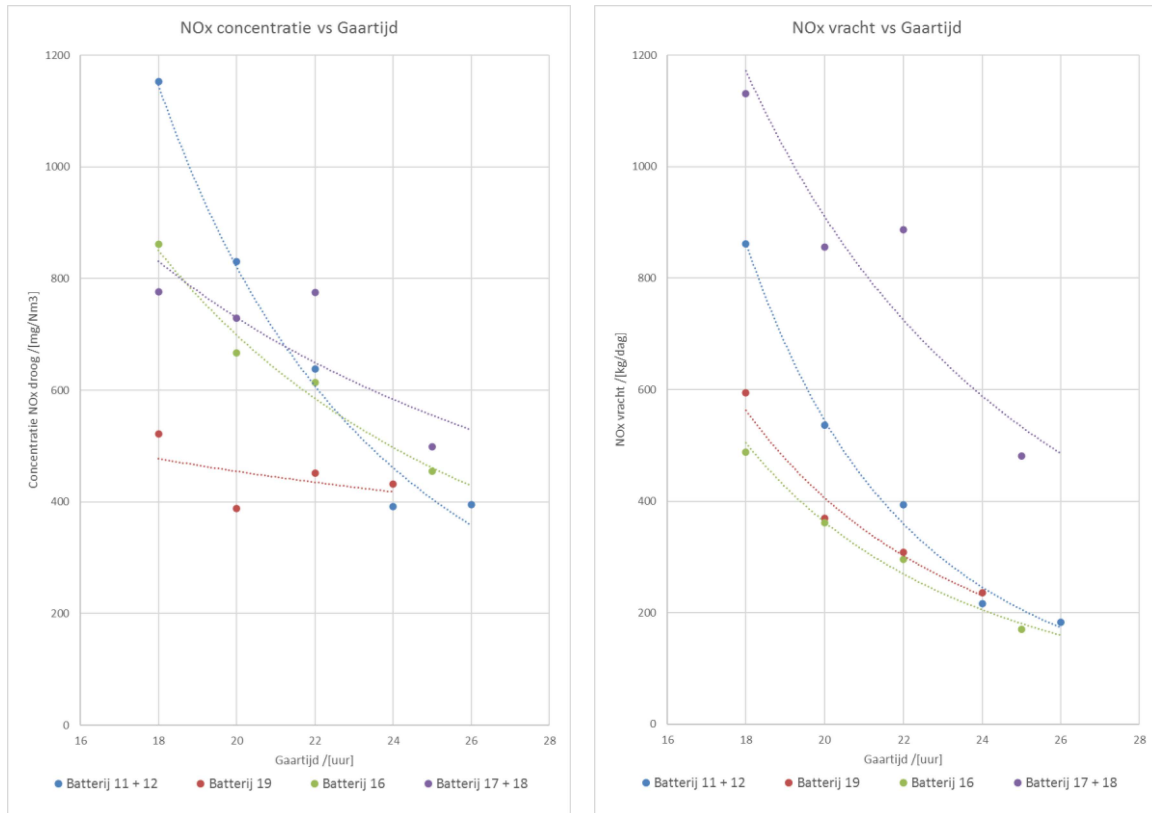
- *Gaartijd*
- *Gasflow*
- *Zuurstofovermaat*
- *Regenerator temperatuur*
- *Omstel- en Pauzetijden*

Het voordeel van deze instellingen is dat geen investeringen in installaties nodig zijn en relatief eenvoudig zijn in te voeren. Nadeel van deze parameters is dat ze onderling sterk gecorreleerd zijn en het dus niet mogelijk is ze als opzichzelfstaande maatregelen te beoordelen en zeker ook niet optelbaar zijn.

Daarnaast is de inschatting van het effect gedaan op procesdata van de afgelopen jaren en is deze informatie niet het resultaat van bewuste proeven om het effect op NO_x vast te stellen. Degelijke proeven moeten wel gedaan worden om te beoordelen om het effect ook structureel behaald kan worden als een ander “operating window” wordt gekozen om NO_x te verlagen.

4.5.1 Gaartijden

De gaartijd vertoont een sterk verband met de concentratie en vracht NO_x . Dit is eenvoudig te verklaren omdat het garen van kooks bij een batterij gestookt op een lage gaartijd een hoge wandtemperatuur vereist terwijl een batterij gestookt op een hoge gaartijd gare kooks kan produceren met een lagere wandtemperatuur. Deze hoge wandtemperatuur wordt gerealiseerd door meer gas te verstoken waardoor er een grotere zone met hoge vlamtemperatuur ontstaat. In die zone ontstaat het meeste NO_x .



Figuur 27 : NO_x concentratie en vracht vs gaartijd per blok

Opvallend is dat de relatie tussen gaartijd en NO_x concentratie veel vlakker is voor Batterij 19 dan voor de overige batterijen van KGF1. Hoewel het ontwerp voor Batterij 19 in een aantal opzichten verschilt van de overige batterijen is er geen goede verklaring bekend bij de deskundigen voor dit verschil in NO_x vorming.

Op basis van de instellingen en eigenschappen van het stookstelsel zou een deel verklaard kunnen worden, zo wordt Batterij 19 met een hogere zuurstofovermaat gestookt en is de omsteltijd korter. Daarnaast is het zo dat de brandertemperatuur van batterij 19 significant lager is bij gelijke gaartijden als de overige batterijen van KGF1.

Ook de relatie tussen vracht en de gaartijd verschilt per batterij. Batterij 16 en 19 vertonen hier het minst effect en de batterijen 11 en 12 juist het meest. Hoewel een gelijke gaartijd voor alle batterijen voordelen heeft in productieregelmaat en kookskwaliteit valt te overwegen een deel van de kooksproductie te verschuiven van de batterijen 11 en 12 naar batterij 19. Dit zou echter voornamelijk voor de concentraties werken en in veel mindere mate voor de vracht.

Scenario 1: KGF1 afregelen met ongeveer 10%.

Vele scenario's en uitgangspunten zijn mogelijk, er is in overleg met de experts van TIS gekozen om een lange termijn gemiddelde van de belangrijkste grootheden te gebruiken.

Batterijen	Gaartijden Huidige situatie (FY23)	Gaartijden Afgeregelde scenario
11 + 12	20	22
19	20	20
16	20	24
17 en 18	20	24

Tabel 7 : Gaartijden scenario KGF1 afregelen met ongeveer 6% minder kooksproductie

Batterijen	Lange termijn gemiddelde concentratie NO _x [mg/Nm ³] bij huidige situatie	Lange termijn gemiddelde concentratie NO _x [mg/Nm ³] bij afgeregelde scenario
11 + 12	830	~ 600
19	390	390
16	670	< 600
17 en 18	730	< 600

Tabel 8 : Vergelijk NO_x concentratie bij huidige en afgeregelde gaartijden

Batterijen	Lange termijn gemiddelde vracht NO _x [kg/dag] bij huidige situatie	Lange termijn gemiddelde vracht NO _x [kg/dag] bij afgeregelde scenario
11 + 12	540	400
19	380	380
16	370	230
17 en 18	850	690
Sommatie KGF1	2170	1700

Tabel 9 : Vergelijk NO_x vracht bij huidige en afgeregelde scenario

De verwachte NO_x reductie op basis van lange termijn gemiddelde is 15 tot 20% voor zowel concentratie als vracht bij een afgeregelde kooksproductie van 10%.

In dit scenario zou Tata van een overschot aan kooks van 50 tot 100 kton per jaar, naar een tekort aan kooks van 50 tot 100 kton per jaar gaan, afhankelijk van het kooksverbruik van de hoogovens.

De kosten van het afregelen zijn grofweg gelegen in de misgelopen baten van de verkoop van het surplus aan kooks minus de lagere kosten van de kolen in het afgeregelde scenario. Verslechterd rendement van de Hoogovens, hoger kooksverbruik moet ook meegenomen worden in de kostenberekening. Per kilo extra kooksverbruik per ton ruw ijzer per jaar zal 3,4 kton CO₂ vrijkomen en [REDACTED] Bij toenemend tekort aan eigen warme kooks neemt het kooksverbruik toe van enkele kilo's per ton ruw ijzer (RY) tot tientallen kilo's. In dit scenario wordt uitgegaan van een beperkt verhoogd kooksverbruik van 5 kg/ton RY.

Rekenend met lage, gemiddelde en hoge kooks- en kolenprijzen komen er drie kostenniveaus uit.

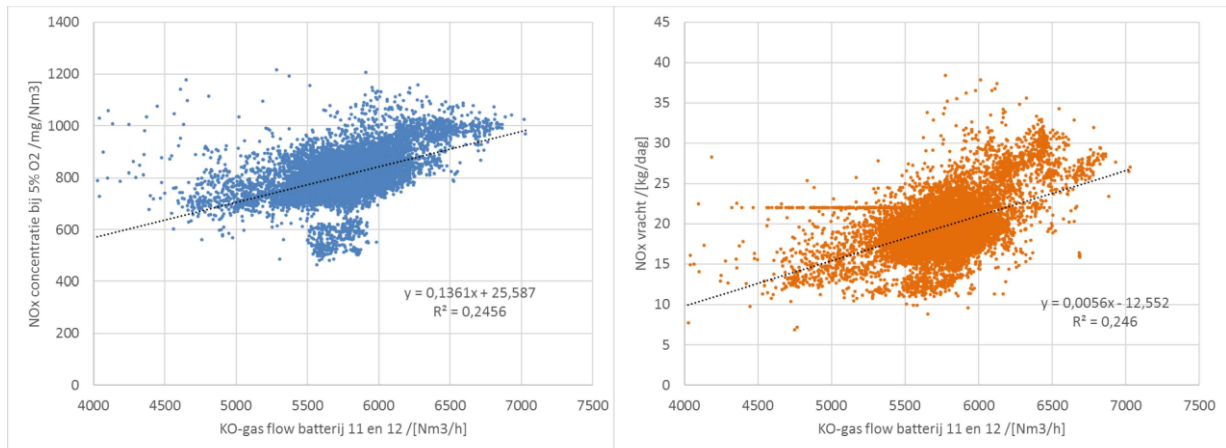


Naast de kosten is er ook een extra CO₂ uitstoot van 16,5 kton per jaar.

4.5.2 Gasflow

De flow van het stookgas vertoont logischerwijs een goede correlatie met de NO_x concentratie en vracht. Het is echter niet los te zien van de gaar- en verblijftijden, de dynamiek van het verkookingsproces en de sturing van de kooktemperatuur.

Als voorbeeld is in Figuur 28 voor Batterij 11 en 12 de correlatie getoond tussen flow KO-gas en de NO_x concentratie en vracht.



Figuur 28 : NO_x concentratie en vracht vs de KO-gas flow batterij 11 en 12

De afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde waarde 5500 – 6000 Nm³/uur KO-gas komen met name voort uit sturing van de kooktemperatuur als reactie op variatie in verblijftijd.

De totale jaar vracht en de gemiddelde concentratie is waarschijnlijk niet noemenswaardig te verlagen met de stookgasflow. Potentieel zou het wel mogelijk zijn de pieken weg te regelen, maar dat vereist een totaal andere manier van ingrijpen in het stookproces.

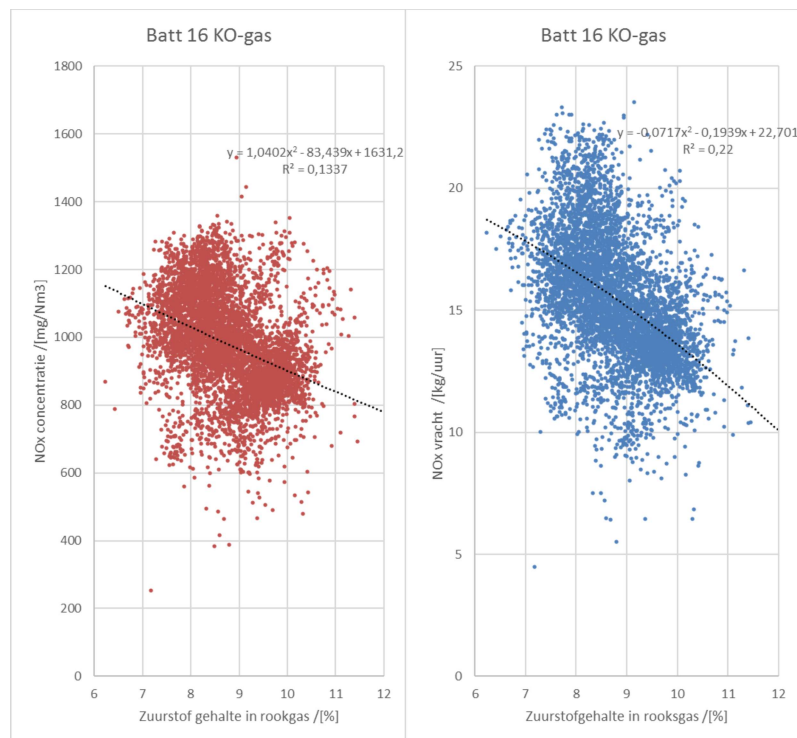
Een mogelijk werkwijze zou kunnen zijn om de verblijftijd te verlengen op het moment dat de energie-behoefte (gewenste gasflow) te groot wordt. Het gevolg is dan een lagere kooksproductie en risico op rauwe kooks. Beide is niet wenselijk.

De maximale mogelijk NO_x reductie wordt ingeschat op kleiner dan 5%.

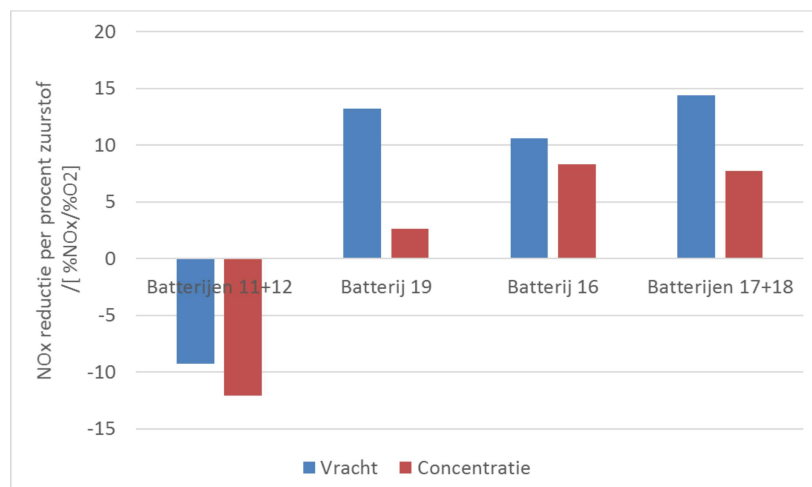
4.5.3 Zuurstofovermaat

Om NO_x te beïnvloeden kan de schoorsteentrek worden aangepast. Deze parameter beïnvloedt de luchtvermaat van de verbranding en dus zuurstofpercentage in de rookgassen. Regressie analyse laat zien dat de verhoging van het zuurstofpercentage effect heeft op de NO_x concentratie en vracht in de rookgassen bij de meeste batterijen (zie Figuur 29) echter zijn de resultaten van de regressie analyse niet eenduidig (zie Figuur 30).

Een verklaring zou kunnen liggen in het feit dat er een negatief optimum is bij de vorming van NO_x bij variërende zuurstofovermaat zoals beschreven in paragraaf 3.2. Indien deze veronderstelling juist is zouden batterijen 11 en 12 bij een veel hogere zuurstofovermaat weer een dalende trend laten zien.



Figuur 29 : NO_x concentratie en vracht vs het zuurstofgehalte in het rookgas van schoorsteen 13 bij KO-gas stoken.



Figuur 30 : NO_x concentratie en vracht reductie per procent zuurstof in het rookgas bij KO-gas stoken.

De keerzijde van het beïnvloeden van de schoorsteentrek is dat het invloed zal hebben op de energie-efficiency van de kooksbatterij.

Scenario 1: Zuurstof in rookgas verhogen met 2%.

Als rekenvoorbeeld wordt uitgegaan van de relaties gevonden voor batterij 16. Deze zijn waarschijnlijk vrij optimistisch en liggen aan de bovenkant van wat mogelijk is qua reductie van NO_x.

	Referentie	Scenario 1
Zuurstofgehalte in rookgas /[%]	8	10
NO _x concentratie /[mg/Nm ³]	1050	900
NO _x vracht /[kg/u]	16	13,5
Verhoging energieverbruik /[%]	referentie	2,3%
Kosten /[Milj. Euro/jaar]	referentie	
CO ₂ /[kton/jaar]	referentie	2,2

Tabel 10 : Referentie en scenario met verhoogde luchtvermaat

Uit de berekeningen blijkt, zoals in Tabel 10 is samengevat, dat een verhoging van 2% zuurstof leidt tot een reductie van ongeveer 15% NO_x in concentratie en vracht.

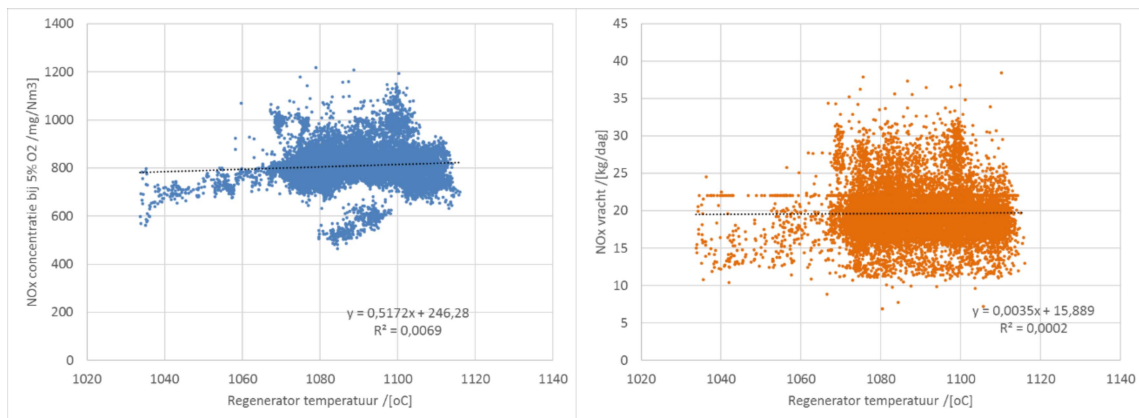
neemt ook de CO₂ uitstoot met 2,2 kton per jaar significant toe.

4.5.4 Regenerator temperatuur

De regenerator temperatuur kan de NO_x vorming beïnvloeden door het feit dat het bepalend is voor de temperatuur van de verbrandingslucht.

De resultaten van de simulaties door R&D, reeds besproken in paragraaf 4.4.1, lieten al zien dat de invloed van de verbrandingsluchttemperatuur beperkt is. Ook de regressie analyse op de procesdata laat een vergelijkbaar beeld zien.

Enkel in het gebied tussen 1040 en 1060 °C zijn de concentratie en vracht lager, maar dat is ver buiten het normale werkgebied van 1080 en 1120 °C en zijn het gevolg van grote verblijftijdverstoringen en/of onderhoudsstilstanden.



Figuur 31 : NO_x concentratie en vracht vs de gemiddelde regenerator temperatuur batterij 11 en 12

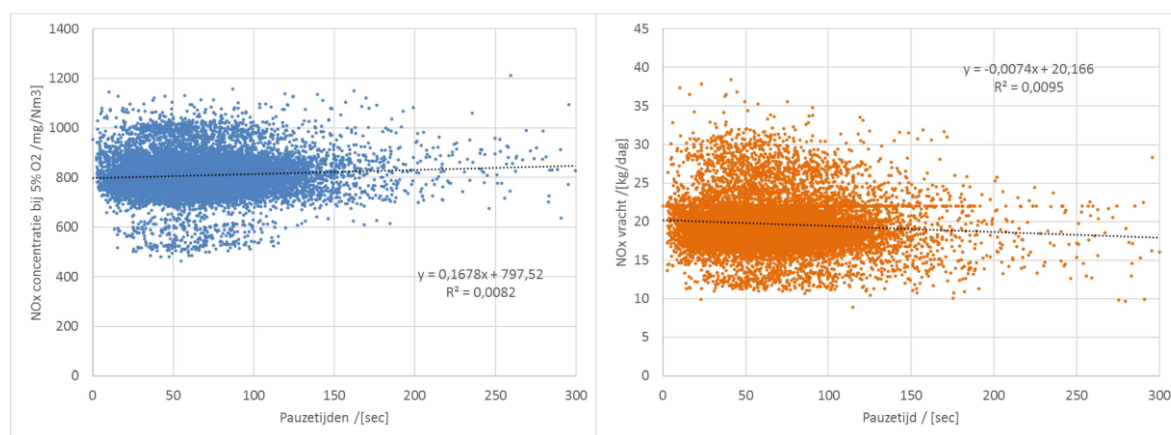
Een mogelijkheid om bewust de temperatuur te verlagen zonder de kookeindtemperatuur te beïnvloeden zou kunnen door de verbrandingsluchtstroom te vergroten. Dit zou een fors energieverlies te gevolg hebben en ook een verhoging van de zuurstofovermaat in het rookgas en de stookgasflow. De stookgasflow zou mogelijk het positieve effect van de lagere regenerator temperatuur te niet kunnen doen.

De zuurstofovermaat en het effect op NO_x zijn bekend en beschreven in paragraaf 4.5.3 en moeten zover mogelijk los worden beoordeeld. Een sturing op de luchtvermaat heeft feitelijk dus het zelfde effect en heeft operationeel waarschijnlijk de voorkeur.

4.5.5 Omstel- en Pauzetijden

Uit de regressie analyse van de procesdata komt geen significant verband tussen de pauzetijden en NO_x concentratie of vracht. Theoretisch zou men wel een verband veronderstellen omdat er bij langere pauzetijd in een kortere tijd een zelfde hoeveelheid energie ingebracht moet worden. Dit zou tot lagere vlamtemperaturen moeten leiden.

De variatie in de procesdata is niet het gevolg van een bewuste sturing op zo laag mogelijk pauzetijd, maar het resultaat van de sturing op kooks- en regeneratortemperatuur.



Figuur 32 : NO_x concentratie en vracht vs de gemiddelde regenerator temperatuur batterij 11 en 12

Indien wel bewust in een lager “operating window” gewerkt zou worden zou een andere werkwijze met sturen van de energie-input geïntroduceerd moeten worden. Er zou vaker of volledig met stookgasdruk gevarieerd moeten worden.

Een benadering van de potentiële baten zou dan uit een gemiddeld lagere stookgasflow afgeleid kunnen worden. Dit is uitgewerkt in een scenario met de flow en pauzetijden van batterijen 11 en 12

	Referentie	Scenario 1
Pauzetijd / [sec]	69	10
Stookgasflow / [Nm³/uur]	6000	5804
NO _x concentratie / [mg/Nm³]	1003	965
NO _x vracht / [kg/u]	21,9	20,6

Tabel 11 : Referentie en scenario met verhoogde luchtvermaat

De reductie van NO_x concentratie en vracht is beperkt terwijl een significant andere stookwerkwijze toegepast zou moeten worden met alle risico's op extra variatie in kookseindtemperatuur van dien.

Zolang er nog ruimte in de pauzetijd is, is het niet logisch om de omsteltijden te minimaliseren. Daaraan zijn veiligheidsrisico's verbonden door onvoldoende doorspoelen van het gas/rookstelsel.

Methode / Techniek	Reductie concentratie NO _x	Reductie vracht NO _x	Verhoging CO ₂ -uitstoot	Technische complexiteit / haalbaarheid	Kosten
Gaartijd	15 - 20%	15 - 20%	10 – 25 kton/jaar	eenvoudig	
Gasflow	0 – 5%	0 – 5%	< 10 kton/jaar	uitdagend	
Zuurstofovermaat	10 - 20%	10 - 20%	< 10 kton/jaar	uitvoerbaar	
Regenerator temperatuur	0 – 5%	0 – 5%	< 10 kton/jaar	uitvoerbaar	
Omstel – en Pauzetijden	0 – 5%	0 – 5%	0 kton/jaar	uitdagend	

Tabel 12 : Impact / Ease evaluatie

5. Ease / Impact analyse

	Impact				Ease			
	Reductie concentratie NOx		Reductie vracht NOx		Technische complexiteit / haalbaarheid	Kosten	Totaal	
	[%]		[%]			CAPEX en OPEX		
						[kEuro]	[Ease/Impact]	
	0	negatief effect	0	negatief effect	0	onmogelijk	hoogste score heeft beste ease/impact	
	1	0 - 5	1	0 - 5	1	zeer lastig		
	2	5 - 15	2	5 - 15	2	lastig		
	3	15 - 30	3	15 - 30	3	uitdagend		
	4	30 - 50	4	30 - 50	4	uitvoerbaar		
	5	> 50	5	> 50	5	eenvoudig		
Geïntegreerde of nageschakelde DeNO _x -installatie								
- SCR	5		5		0		1	0
- SNCR	4		4		0		1	0
Alternatieve of aangepaste branders								
- Alternatieve branders	4		4		0		1	0
- Aangepaste branders	4		4		0		2	0
Toepassen van andere brandstoffen of mengsels								
- Maximaal KO-gas stoken	0		2		4		2	8
- Maximaal HO-gas stoken	2		0		3		2	7
- OXY-gas	1		1		2		2	6
- Aardgas	4		4		2		1	11
- HO-gas verrijken met aardgas	1		1		2		2	6
Eigenschappen stookgas en verbrandingslucht								
- Minder Cyanide in KO-gas	1		1		2		2	6
- Minder Ammoniak in KO-gas	1		1		2		2	6
- Meer BTX in KO-gas	2		2		4		5	13
- Waterinjectie in verbrandingslucht of stookgas	3		3		3		2	11
- Temperatuur van het stookgas	2		2		4		3	11
- Recirculeren van rookgas	4		4		0		2	0
Aanpassen van procesinstellingen stookstelsysteem								
- Gaartijd	3		3		5		2	13
- Gasflow	1		1		3		3	8
- Zuurstofovermaat	3		3		4		2	12
- Regenerator temp.	1		1		4		2	8
- Omstel- en Pauzetijden	1		1		3		2	7

6. Conclusies

In het voorliggende onderzoek zijn alle bekende NO_x reducerende technieken beoordeeld op hun effectiviteit en toepasbaarheid bij KGF1.

De lage concentratie NO_x bij batterij 19 ten opzichten van de overige batterijen is technologisch niet te verklaren. Voordat conclusies verbonden kunnen worden aan de daar behaalde concentratie en vracht, is meer onderzoek naar het mechanisme, met gerichte metingen, noodzakelijk.

De technieken die het best uit de impact/ease analyse kwamen zijn:

- *Aardgas stoken*
 - Voordeel:* Zeer effectief voor NO_x concentratie en vracht reductie.
~ 30% reductie NO_x bij KGF1.
 - Nadeel:* Waarschijnlijk vooral verschuiven van NO_x emissie.
120 kton meer CO₂ uitstoot.
- *Meer BTX in KO-gas*
 - Voordeel:* Levert momenteel besparing op.
~ 8% reductie NO_x.
 - Nadeel:* Mogelijk vervuiling van branders bij afnemers.
10 kton meer CO₂ uitstoot.
- *Waterinjectie in verbrandingslucht*
 - Voordeel:* Relatief eenvoudige beproefde techniek.
~ 20% reductie NO_x.
 - Nadeel:* Heeft complexe installatie en aansturing nodig.
7 kton meer CO₂ uitstoot.
- *Temperatuur van het HO-gas verhogen*
 - Voordeel:* Heeft waarschijnlijk geen extra installatie nodig
~ 10% reductie NO_x.
 - Nadeel:* Verhoogd energieverbruik
1,8 kton meer CO₂ uitstoot.
- *Gaartijd*
 - Voordeel:* Bewezen effectief voor NO_x concentratie en vracht reductie.
~ 20% reductie NO_x.
 - Nadeel:* Potentieel meer effect op HO-proces dan nu meegenomen.
17 kton meer CO₂ uitstoot.
- *Zuurstofovermaat*
 - Voordeel:* Redelijk effectief voor NO_x concentratie en vracht reductie.
~ 15% reductie NO_x.
 - Nadeel:* Verhoog energieverbruik.
2,2 kton meer CO₂ uitstoot.

Alle NO_x reducerende technieken hebben een negatief effect op de CO₂ uitstoot. In overleg met de vergunningverlener en het management van Tata zal een afwegen moeten worden gemaakt of de milieuvordelen van NO_x reductie opwegen tegen de milieunadelen van meer CO₂ uitstoot.

Geen van de onderzochte technieken kan op zichzelf een daggemiddelde concentratie van 500 mg/Nm³ garanderen.

Aanbeveling 1

Bestudeer de volgende maatregelen middels bedrijfsproeven van enkele maanden, om de lange termijn proceseffecten en NO_x-reductie met hogere nauwkeurigheid vast te stellen:

- Meer BTX in het KO-gas
- Zuurstofovermaat in het rookgas
- Temperatuur van het HO-gas verhogen

Aanbeveling 2

Laat door PTC of een extern engineeringsbureau een concept ontwerp uitwerken om de mogelijkheid van waterinjectie in de verbrandingslucht in meer detail te bestuderen.

Aanbeveling 3

Onderzoek of de NO_x concentratie van Batterij 19 realistisch is door een meetprogramma met referentiemetingen op meerdere plekken in het rookgaskanaal.

Literatuur

- [1] Rainer Remus, Miguel A. Aguado Monsonet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho, *“Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (IPPC)”*, 2013
- [2] Neuwirth, R., Huhn, F., Kim, R., and Gorski, A., *“Potentials and Limitations with Respect to NO_x-Reduction of Coke Plants”*, ThyssenKrupp Industrial Solutions Group Technical Paper, Essen: ThyssenKrupp Ind. Solutions, 2014
- [3] B.T. Burggraaf, *“NO_x emissie reductie Kooksfabriek 1”*, 2005, Reference Source 114620. Project 837737
- [4] B.T. Burggraaf, *“NO_x emissie KOFA 1”*, 2005, Reference Source 113701. Project 837737
- [5] L. Bleijendaal, F. de Groot, *“Thermal NO_x reduction by steam injection”*, 2021, Reference Source 202244, Project STIR ISC / 9860
- [6] E. Malfa, Minimizing NO_x Emissions from Reheating Furnaces, January 2009, Conference: 7th High Temperature Air Combustion and Gasification International Symposium.
- [7] V. I. Rudykaa, S. A. Kravchenkoa, S. J. Abdullina, S. J. Stelmachenkoa, and O. I. Makeia, *“Decreasing the NO_x Emissions at Coke Plants”*, Coke and Chemistry, 2020, Vol. 63, No. 5, pp. 241–246
- [8] C. Weiss, J. Rieger, and B. Rummer, *“Formation and Control of Nitrogen Oxide in the Heating System of a Coke Oven”*, ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE Volume 29, Number 7, 2012
- [9] Zhenxing Li et. al. *“Numerical study and design strategy for a low emission coke oven system using oxy-fuel combustion of coke oven gas”*, Journal of Cleaner Production 252 (2020)
- [10] S. Gamrat, J. Poraj, J. Bodys, J. Smolka, W. Adamczyk, *“Influence of external flue gas recirculation on gas combustion in a coke oven heating system”*, Fuel Processing Technology 152 (2016) 430–437
- [11] Changming Li et. al. , *“The industrial feasibility of low temperature DeNO_x in the presence of SO_x: a project case in a medium coking plant”*, RSC Adv., 2018, 8, 18260
- [12] R. Hekkes, *“Overview of NO_x formation mechanisms from combustion of works arising gases and natural gas at the Tata Steel IJmuiden site”*, 2018, Reference Source No.: 172488, Project number: 9866
- [13] F. de Groot, *“Chemical NO_x mitigation potential on TSIJ site”*, 2021, Reference Source number: 177953, R&D Project number: 9860
- [14] F. de Groot , *“ASPEN model Sulfiban process Coke Plant 1”*, 2020, Reference Source number: 177632, Project number: 9860
- [15] V. Dhiman, S. Rajendran, *“Numerical Modeling of NO_x generation in KGF1 Ovens”*, 2022, Reference Source number: 203559, Project number: RD000718

Bijlage 1: Integrale beschrijving van de onderzoeksverplichting NO_x reductie KGF1

Mede gelet op het ontbreken van een concrete BAT-AEL in BBT-conclusie 49 voor oudere installaties zonder geïntegreerde Low-NO_x-technieken, de huidige emissiegrenswaarde in de omgevingsvergunning, de eerder geconstateerde overschrijdingen van deze emissiegrenswaarde en het feit dat onvoldoende duidelijk is of de met BBT geassocieerde technieken¹³ kosteneffectief geïmplementeerd kunnen worden, achten wij een nader onderzoek vereist. Aangezien Tata Steel als vergunninghouder beschikt over de meeste technische kennis om binnen de bestaande Kooksfabriek 1 NO_x verdergaand te reduceren, ligt een onderzoeksverplichting in dat kader voor de hand.

Verbetermogelijkheden vergen maatwerk op basis van onderzoek, metingen en economische haalbaarheid. Technische maatregelen kunnen uiteraard ook andere technieken zijn dan Low-NO_x-branders, zoals Premixbranders om de piektemperatuur te verlagen en Oxy-fuel branders om thermische NO_x te verminderen door ontbreken van de stikstofcomponent. Een voorbeeld van een te onderzoeken mogelijkheid is een bijzonder type brander bij een anodebakkerij met een langgerekte vlam om het oppervlak van een anode zo gelijkmatig mogelijk te verhitten. Deze langgerekte vlam komt mogelijk overeen met de wens van Tata Steel om in een kookoven de wanden van de kookkamer zo gelijkmatig mogelijk te verhitten. Ook het vervangen of het toepassen van andere brandstofmengsels kan leiden tot het verlagen van de NO_x emissie. Tevens het verwijderen van de stikstofverbindingen uit de in te zetten brandstof kan hiertoe bijdragen.

Wij hebben dan ook gemeend een verplichting op te leggen aan Tata Steel om onderzoek uit te voeren naar aanvullende maatregelen met als doel om de huidige NO_x emissie verder te reduceren. Hierbij dient gestreefd te worden naar het verlagen van de NO_x-emissie tot aan de onderkant van de range (500 mg/Nm³). Het onderzoek zal zich daarbij vooral moeten richten op het terugdringen van de emissievracht van NO_x.

De onderzoeksverplichting hebben wij opgenomen in het nieuw aan de vergunning te verbinden voorschrift 1.2.20.H.I, behorend bij besluitonderdeel III, in hoofdstuk E bij dit besluit.