

HVG-Mitteilung Nr. 2107

Energiesparende DeNO_x Technologie an der Schmelzwanne der NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG Brand Erbsdorf

Andreas Birle, Software & Technologie Glas (STG), GmbH Cottbus
Tobias Köhler, NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG, Brand Erbsdorf

Vortrag im Rahmen der 80. Jahrestagung der DGG am 13.06.06 in Dresden

1. Einleitung

Die NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG Brand Erbsdorf betreibt eine 40 m² querbeheizte Glasschmelzwanne mit regenerativer Luftvorwärmung, 3 Ports und Gasbrennern in Unterbankanordnung. Es werden bis zu 40 t/d Kalk-Natron-Silikatglas geschmolzen und zu Glasrohren für Leuchtstofflampen verarbeitet. Die Produktion erfordert häufige Lastwechsel und die Änderung des Scherbenanteils zwischen 30 bis 75 %.

Um Planungssicherheit für zukünftige Investitionen zu erhalten, den steigenden Anforderungen bezüglich Schadstoffemissionen gerecht zu werden sowie die Chancen des CO₂ Emissionshandels nutzen zu können, wurde in Zusammenarbeit mit der Software & Technologie Glas GmbH (STG) Cottbus die komplexe energiesparende DeNO_x Technologie angewendet. Die einzelnen Elemente der Technologie wurden schrittweise eingeführt, wodurch die Bewertung der Effekte jedes Teilschrittes auf den Schmelzbetrieb ermöglicht wird.

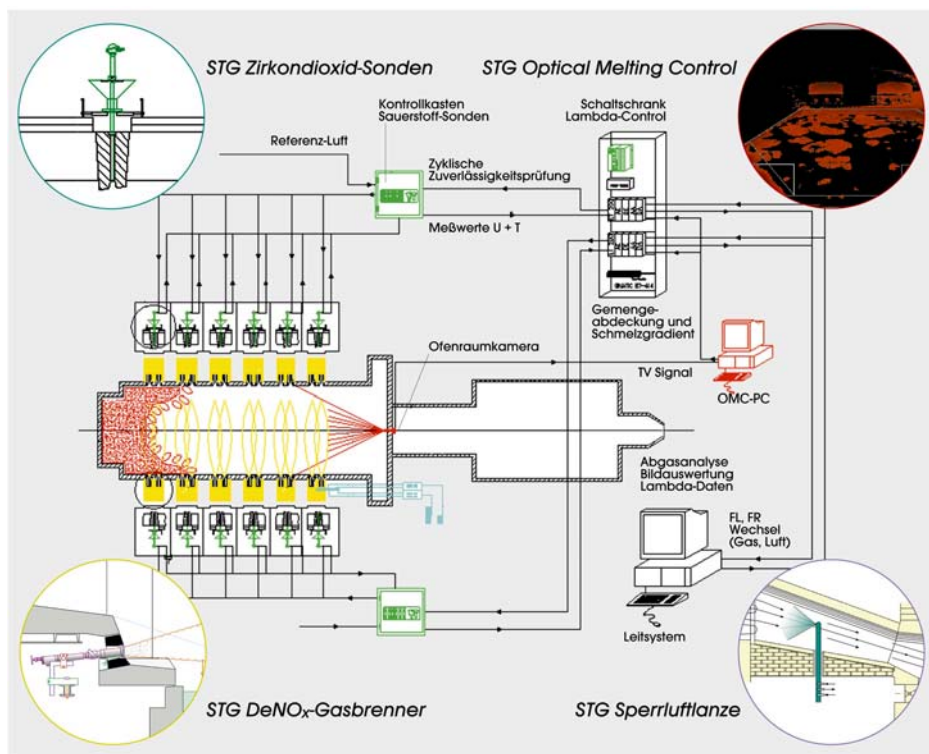


Bild 1: STG DeNox-Technologie – Gesamtübersicht.

2. Zirkonoxid Sauerstoffsonden

Zentrales Element der DeNO_x Technologie ist die prozessnahe Kontrolle des Verbrennungsergebnisses durch die Messung des Rest-O₂ Gehaltes im Abgas mittels der STG Zirkonoxid Sauerstoffsonden. Davon wurde an jedem Port je eine Sonde rechts und links installiert, wodurch ein vollständiges O₂ Profil der Wanne permanent erfasst und gezielt eine nahstöchiometrische Verbrennung eingestellt werden kann. Die Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Langlebigkeit der Sauerstoffsonden ermöglicht die Einrichtung einer Lambda-Regelung bzw. einer O₂-geführten Luftverhältnisregelung. Der sonst übliche Sicherheitsaufschlag beim Luftverhältnis entfällt. Die geringere Gesamtverbrennungsluftmenge senkt den Energieverbrauch und die NO_x-Bildung. Bei diesem Schritt sank der Energieverbrauch von 11,95 GJ/t (bei 20 t/d) auf 10,13 GJ/t (bei 25 t/d) und der NO_x-Wert von 1150 mg/m³_n (bei 20 t/d) auf 975 mg/m³_n (bei 25 t/d) vgl. Bild 2.

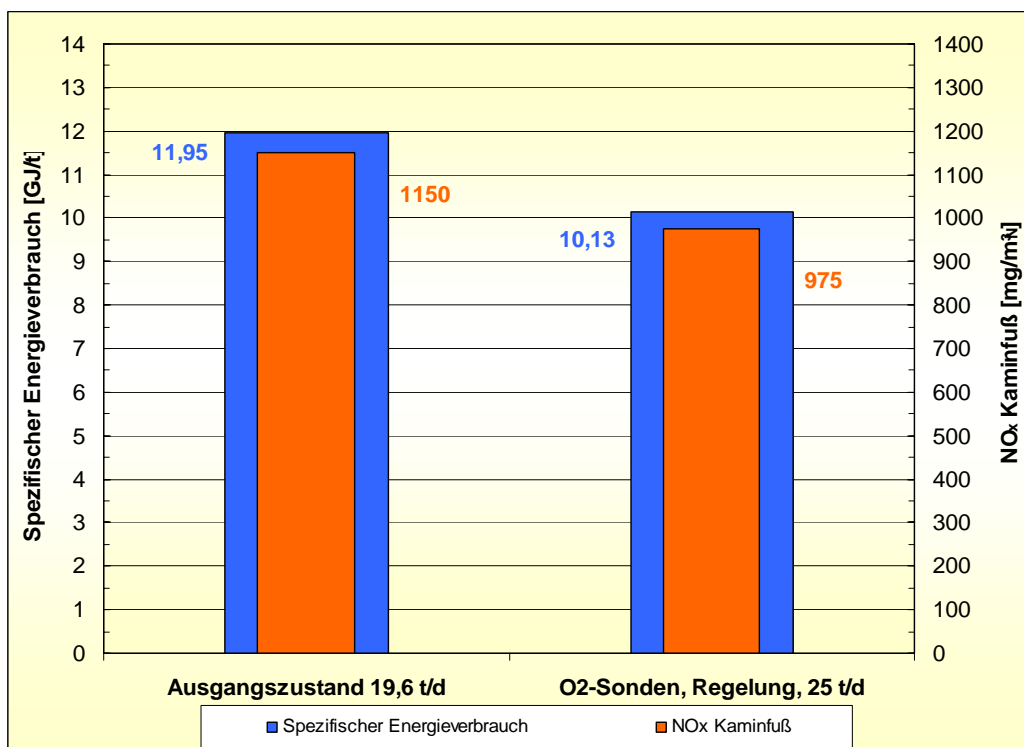


Bild 2: NO_x und spez. Energieverbrauch erster Schritt: O₂ Sonden u. Regelung.

Die produktionsbedingt stark schwankenden Schmelzleistungen in Verbindung mit wechselnden Scherbenanteilen erschweren die Gegenüberstellung von genau gleichen Betriebszuständen vor und nach jedem Teilschritt. Darüber hinaus verfügt die Anlage über keine permanente NO_x-Messung, so dass jeder Betriebspunkt mit mobiler Messtechnik aufgenommen werden muss. Das gesamte Lastspektrum konnte nicht erfasst werden. Hier sind jeweils Zustände mit 40 % Scherben und 1435°C Gewölbetemperatur (indirekt gemessen) beschrieben.

3. Sperrluftanlagen an Regeneratoren ohne Trennwände

Die Regeneratoren der Schmelzwanne der NARVA verfügen über keine Trennwände zwischen den Brennerports. Die zugeführte Gesamtbrennluft verteilt sich entsprechend der Querschnitte der drei Brennerports. Da diese aber nicht der technologisch erforderlichen Brennstoffverteilung entspricht, kann nur ein Port wirklich nahstöchiometrisch gefahren werden. Für diesen Anlagentyp hat die STG ein Sperrluftsystem entwickelt. Dabei werden wassergekühlte Druckluftanlagen in die potentiellen Luftüberschussports eingesetzt, die der Verbrennungsluft über speziell der Portgeometrie angepasste Düsen eine „Druckluftsperrre“ entgegenrichten.

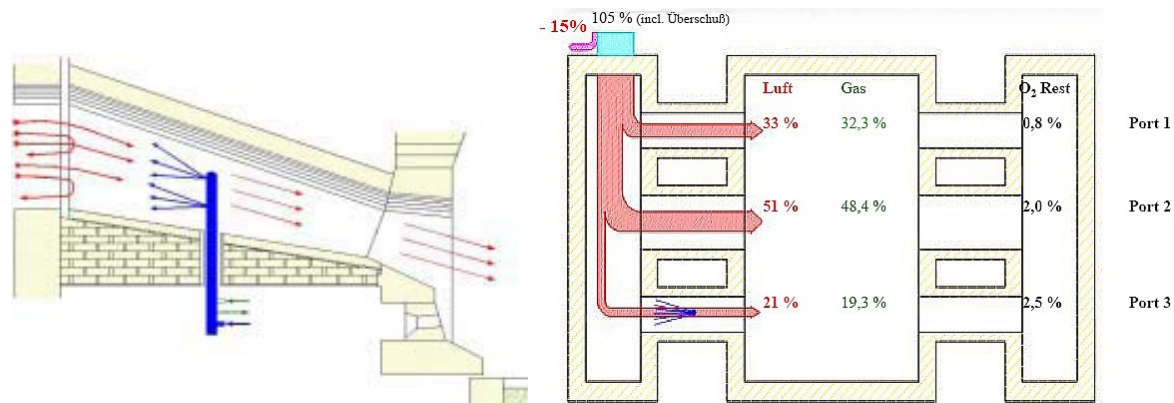


Bild 3: Sperrluftanlagen und Luftverhältnisse.

Es steht damit ein Instrument zur Verfügung, das durch seinen einstellbaren Widerstand die Einzelluftmenge des Ports beeinflussen kann. Luftüberschussports werden mittels Sperrluftanlagen gedrosselt. Die überschüssige Luft verteilt sich über den Regeneratorkopf auf die Luftmangelports um. Das vergleichmäßigte O₂-Profil kann nun durch die Absenkung der Gesamtluft im Niveau gesenkt werden. Damit wird die Mehrheit der Ports nahstöchiometrisch gefahren (siehe Bild 7).

Die ersten Einsatzerfahrungen an der Wanne der NARVA zeigten, dass hier relativ wenig Sperrluft nötig ist, um einen merklichen Effekt zu erreichen. Mit nur 8 – 15 m³_N/h Druckluft bei 0,2 bar konnte der Port 3 bis in die reduzierende Fahrweise herunter gedrosselt werden. Das legte den Ansatz nahe, dass keramische Einbauten im Port ähnliche Effekte erreichen können. Aufgrund der guten baulichen Zugänglichkeit des Port 3 und dessen größten Drosselungspotentials wurden hier Sperrmauern eingebaut, die einen fixen Widerstand bilden. Der Vorteil der eingesparten Arbeitsluft und des Kühlwassers ist mit dem nicht unerheblichen Nachteil der mangelnden Flexibilität bei schwankenden Schmelzleistungen verbunden, der die Handhabung des O₂-Profils über den gesamten Lastbereich deutlich erschwert. Außerdem besteht bei starker Sperrung des Port 3 auch am Port 2 Sperrluftbedarf, da die Umverteilung der Verbrennungsluft anteilig stärker in den querschnittsmäßig größeren Port 2 und nicht in den eigentlichen Luftmangelport 1 stattfindet. Trotz dieser Einschränkung konnte eine deutliche Verbesserung der Brennluftverteilung erreicht werden. Mit diesem Schritt wurde der Energieverbrauch von 10,13 GJ/t auf 9,80 GJ/t und der NO_x-Wert von 975 mg/m³_n auf 810 mg/m³_n gesenkt (jeweils bei 25 t/d); siehe Bild 4.

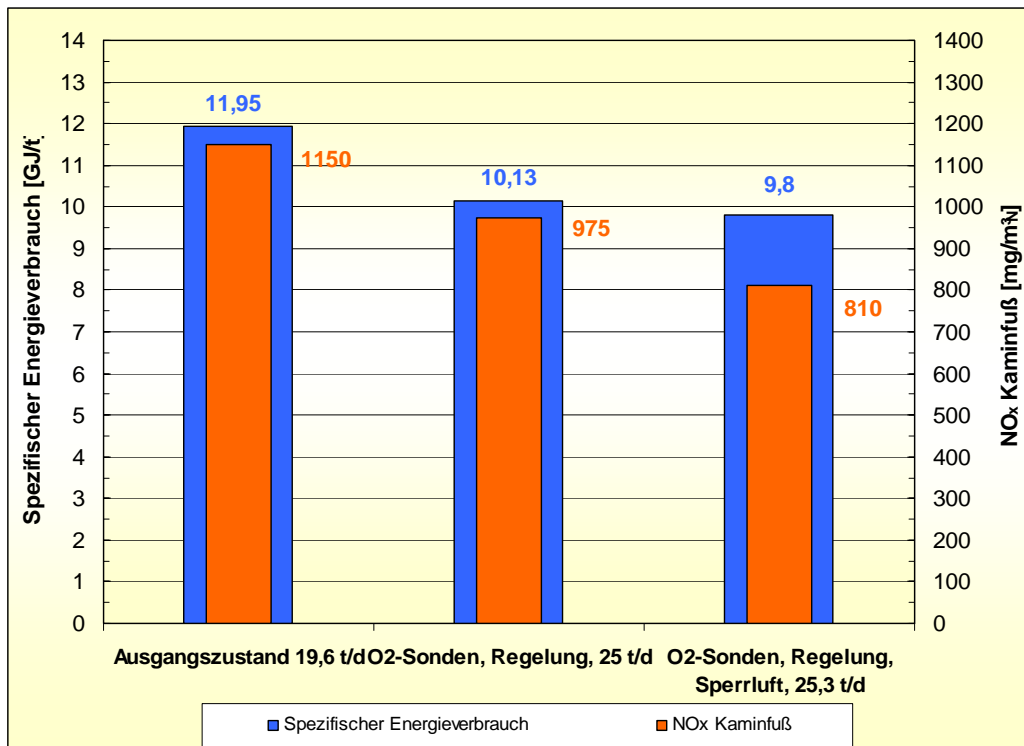


Bild 4: NO_x und spez. Energieverbrauch zweiter Schritt: Sperrluft.

4. DeNO_x Gasbrenner, Optimierung Brennstoff- u. Luftverteilung

Die Mischungsbedingungen von Brennstoff und Luft bestimmen in hohem Maße die Strahlungseigenschaften, das Temperaturprofil und somit das NO_x-Bildungspotential der Flamme. Während die Form der Lufterbringung für die Zeit einer Wannenreise baulich festgelegt ist, kann das System Brenner bzw. Gasinjektor – Brennerstein modifiziert werden.

Die STG hat einen DeNO_x Gasinjektor entwickelt, der die Mechanismen der gesteigerten Strahlungsintensität mit denen der verminderten NO_x-Bildung verbindet. Die Strahlungsintensität wird entweder durch eine höhere Temperaturdifferenz oder durch einen höheren Emissionskoeffizienten gesteigert. Da die NO_x-Minderung niedrigere Temperaturen erfordert, ist der Emissionskoeffizient ein wichtiger Ansatzpunkt. Dieser wird gesteigert, indem der Rußanteil der Flamme erhöht und somit ein grauer Strahler erzeugt wird. Der zweite Ansatzpunkt ist die Vermeidung hoher O₂-Konzentrationen in Zonen hoher Temperatur, also in der Flammenwurzel. Dies wird neben der Vermeidung von eindringender Falschluff im Brennermündungsbereich durch die verspätete Mischung von Brennstoff und Luft erreicht.

Konstruktiv wurden diese Ansätze durch zwei wesentliche Merkmale umgesetzt:

1. Der Düsenstein ist in seiner Funktion als solches abgelöst und besteht nur noch aus einer Aufnahmeöffnung. Die Injektormündung ist direkt im Ofenraum am Ende dieser Öffnung angeordnet. Diese Anordnung schaltet alle Störeinflüsse des bisherigen Düsensteins aus und ermöglicht den freien Eintritt des Gasstrahls in den Ofenraum. Die Temperatur und die Temperaturwechsel an der neuen Position erfordern eine Wasserkühlung der Mündung. Der Brennerkopf, der sich nun quasi in der Ofenwand befindet, ist redundant luftgekühlt, so dass bei Kühlwasserausfall der Brenner nicht zerstört wird und genügend Zeit zum Wechsel des Kühlrings bleibt.

Die Aufnahmeöffnung ist nach hinten konisch erweitert, so dass ein horizontales und vertikales Auswinkeln des Injektors wie gewohnt möglich ist.

- Die Düse selbst gibt dem Gasstrom den Charakter des natürlichen Freistrahls bereits mit, da der Diffusor in dessen Winkel ausgeformt ist. An der Wurzel des Freistrahldiffusors befindet sich eine Zentraldüse, die es ermöglicht, den Anfangsimpuls des Gasstromes zu variieren, um so auf verschiedene Durchsätze reagieren zu können.

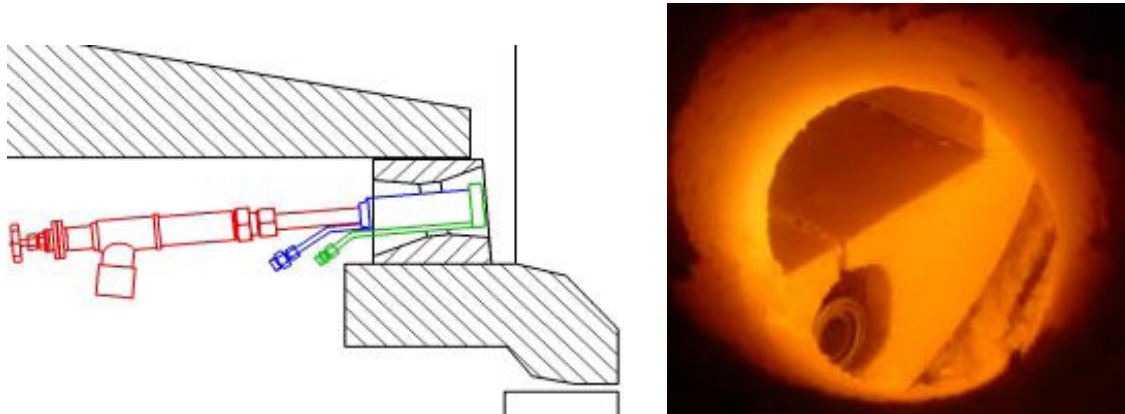


Bild 5: Einbau des Brenners und des Düsensteines.

Der natürliche Freistrahл kann mit einem Minimum an Turbulenzen dem Luftstrahl zur Mischung zugeführt werden. Jede Winkeleinstellung bzw. Positionsänderung ist unabhängig vom Düsenstein und dessen Öffnungswinkel.

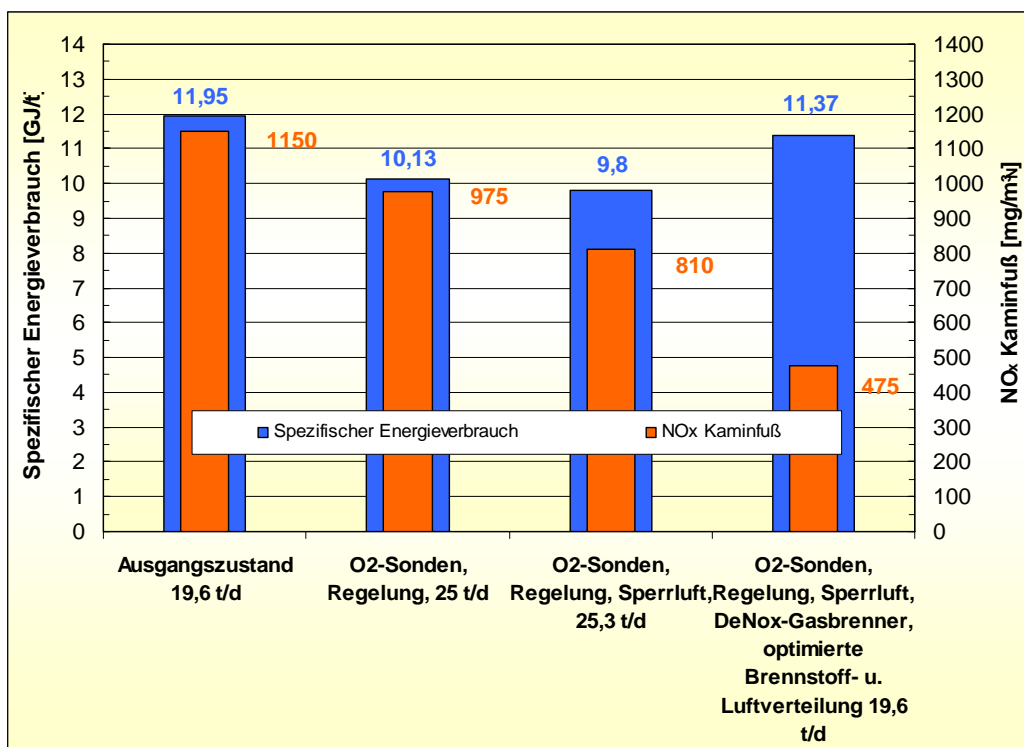


Bild 6: NO_x und spez. Energieverbrauch dritter Schritt: DeNO_x Gasbrenner.

Die sechs in Betrieb befindlichen Gasinjektoren der NARVA wurden inklusive der Brennersteine durch STG-DeNO_x-Gasinjektoren ersetzt. Die mit Einführung der Sperrlufttechnik begonnenen Optimierungen der Brennstoff- und Luftverteilung wurden fortgesetzt bzw. verfeinert.

Der NO_x-Wert für die Referenztonnage von 19,6 t/d konnte damit auf 475 mg/m³_n gesenkt werden. Der spezifische Energieverbrauch konnte bezogen auf gleiche Leistung von 19,6 t/d von 11,95 auf 11,37 GJ/t verringert werden (Bild 6).

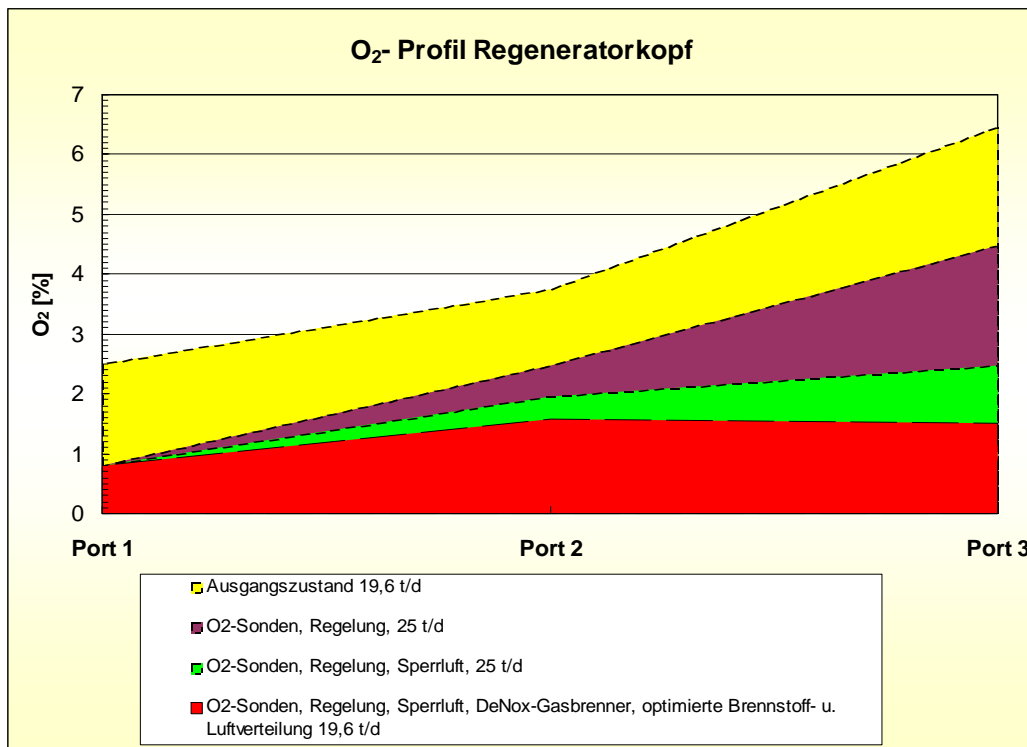


Bild 7: O₂-Profil am Regeneratorkopf mit Nutzung der STG DeNO_x Technologie.

5. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei einer mittleren Schmelzleistung von 20 t/d der Energieverbrauch um 4 % und der NO_x Wert unter 500 mg/m³_n (um 55 %) gesenkt werden konnte.

Die Ergebnisse der einzelnen Teilschritte sind in Bild 8 und Bild 9 zusammengefasst. Verbal kann folgende Bewertung vorgenommen werden:

- Bei mittlerer Tonnage wurde der NO_x Wert mehr als halbiert.
- Bei doppelter Tonnage konnte der NO_x Wert um 100 mg/m³_n gesenkt werden.
- Der spezifische Energieverbrauch wurde um 4 % gesenkt.

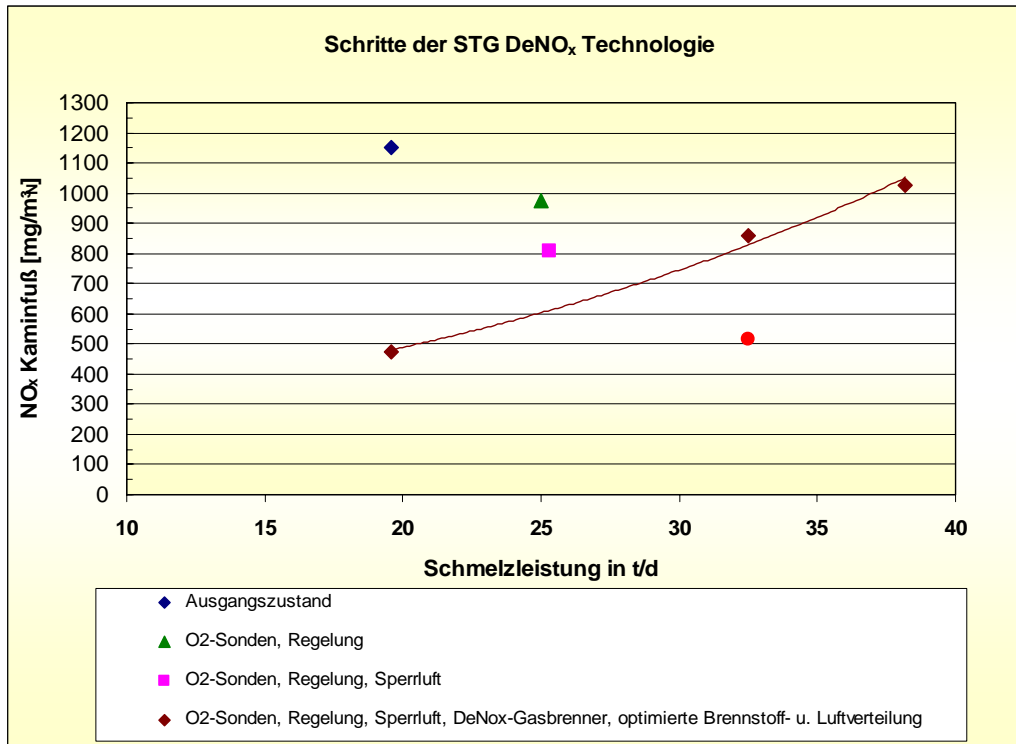


Bild 8: NO_x-Entwicklung bei schrittweiser Einführung der STG DeNO_x-Technologie.

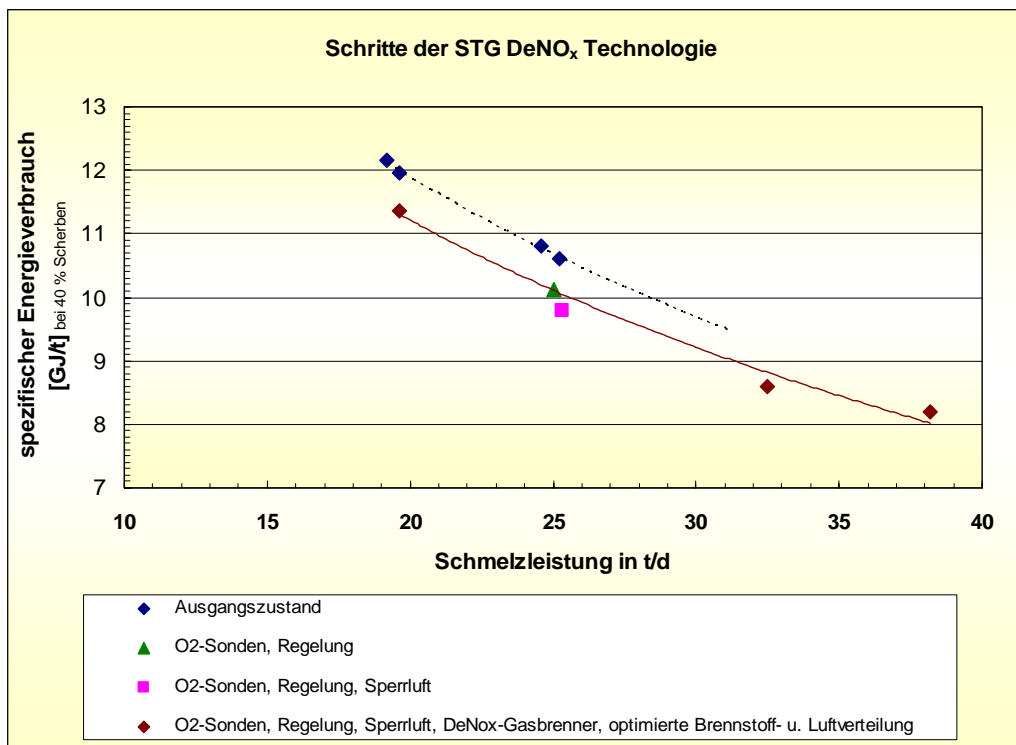


Bild 9: Entwicklung des spez. Energieverbrauchs mit STG DeNO_x Technologie.

6. Ausblick

Die bisherige Schwankungsbreite der Schmelzleistung im Zeitraum von April 2004 bis September 2005 lag bei 15 – 28 t/d. Die Auftragslage der NARVA erforderte in den letzten Monaten höhere Schmelzleistungen im Bereich von 22 – 38 t/d. Aktuelle Messungen bei 38 t/d, der höchsten bisher mit der DeNO_x Technologie gefahrenen Tonnage für diese Anlage, haben einen NO_x-Wert von 1025 mg/m³_n ergeben. Es liegt für diese hohe Tonnage jedoch kein Referenzwert vor der Einführung der Technologie vor.

Es sind weitere Optimierungen geplant, um den Anforderungen der hohen Schmelzleistungen gerecht zu werden. Insbesondere an der Brennerlanzenbestückung soll weiter mit Fokus auf Anzahl, Position und Auswinkelung gearbeitet werden. Dieses Arbeitsfeld bietet besondere Ansatzpunkte zur Stabilisierung der Unterofenströmung, da die Wanne der NARVA über keinen Wall und Bubblinganlage verfügt, birgt allerdings auch Risiken, da bei geringerer Lanzenanzahl die Auswahl der Position um so wichtiger ist. Erste Versuche, am Port 2 eine der drei Lanzen abzuschalten und die beiden verbleibenden mit größeren Düsen zu betreiben, haben gezeigt, dass auch bei 32,5 t/d NO_x-Wert um 500 mg/m³_n erreicht werden können (vgl. Bild 10). Da die Flammenlänge von der Wannenbreite begrenzt ist, muss hier besonders auf horizontale und vertikale Auswinkelung geachtet werden, um den Energieeintrag nicht in den Regenerator zu verlagern.

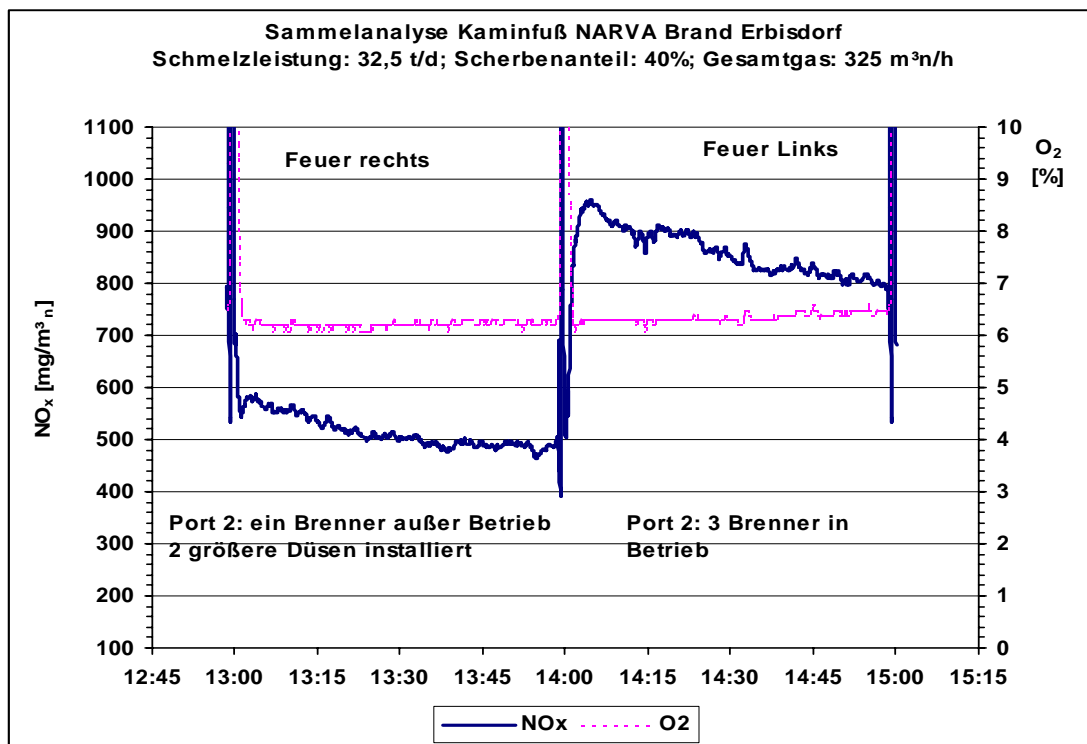


Bild 10: NO_x-Minderungspotential durch Optimierung von Brenneranzahl, Brennerposition und Brennergröße.

Die Einordnung dieser Maßnahme in die Reihe den bisherigen Schritte ist in Bild 11 dargestellt.

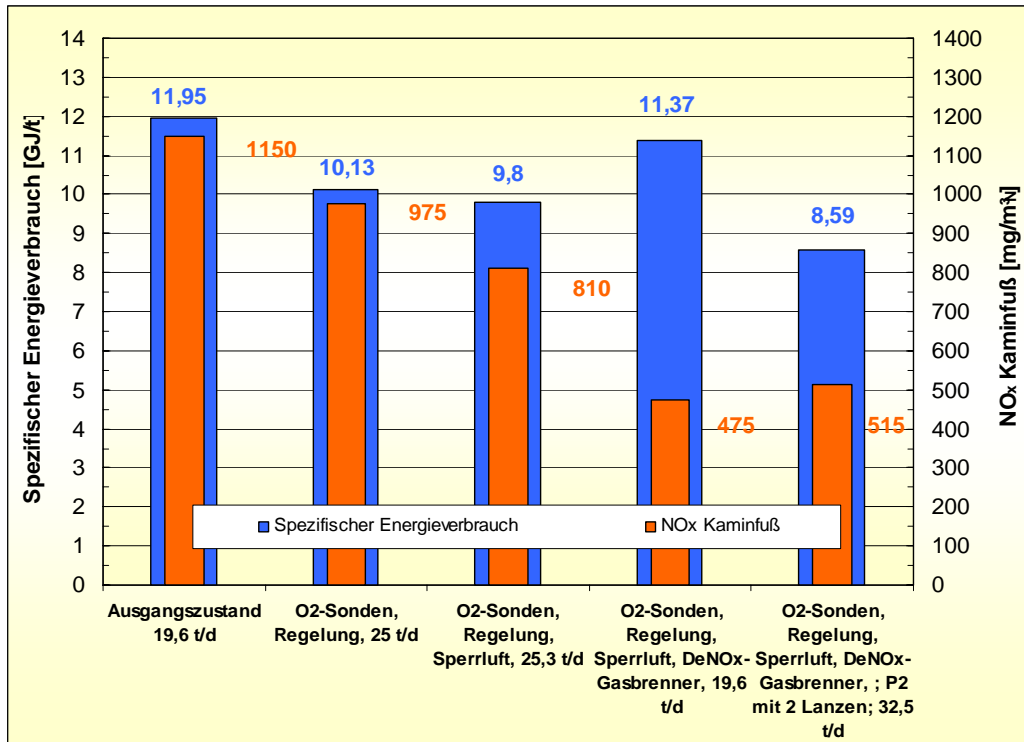


Bild 11: NO_x und spez. Energieverbrauch: vierter Schritt: Brenneranlagenminimierung.

Die bestehende Ausführung der Sperrlufttechnologie mittels eingebauter Mauer ist wenig flexibel und nicht vollständig in Bezug auf die Beeinflussbarkeit des Port 2. Die Temperaturwechsel zwischen den Feuer- und Abgasperioden haben eine Mauer schon zum Einsturz gebracht. Die Investition in die Medienversorgung einschließlich Mess- und Regelungstechnik und Wechselsteuerung von zwei Paar Sperrluftanlagen wurde bisher noch zurückgestellt. Um im gesamten Lastbereich optimal fahren zu können, wird dies jedoch nötig sein.