

*Abbildung 2: Heißwind-Kupolofen mit eigen beheiztem Winderhitzer und sekundäre Wärmenutzung*

## **1 Verfahrensmodifikationen beim Heißwind-Kupolofen**

### **1.1 Überhitzung des Windes**

Eine Weiterentwicklung des Heißwind-Kupolofens besteht darin, die Temperatur des Heißwindes mit Hilfe einer Plasmafackel weiter zu erhöhen.

Als Beispiel zeigt Abbildung 3 einen im Werk Sept Fons von Peugeot installierten Kupolofen mit Plasma beheiztem Wind.



*Abbildung 3: Kupolofen mit Plasma beheiztem Wind*

*Quelle [7]*

Die von der Plasmafackel auf etwa 3500 °C erhitzte Luft vermischt sich mit dem vom Rekuperator zuströmenden Heißwind von etwa 350 °C, so dass Windtemperaturen zwischen 500 °C und 1300 °C gefahren werden können.

Im praktischen Betrieb wurde der Ofen mit Temperaturen zwischen 800 °C bis 900 °C gefahren.

Nach [30] kann durch die Steigerung der Windtemperatur um 200 °C, ausgehend von 550 °C bis 750 °C, z.B. durch Einblasen von Luftplasma, rund 10 kg Koks pro erschmolzene Tonne eingespart werden.

Ausgehend von einem Heizwert europäischer Kohle von 8,5 kWh/kg gelangt man zu einer Verminderung des Energiebedarfs von 85 kWh/t.

## 1.2 Einsatz von Erdgas/Sauerstoff-Brennern

Der Einsatz von Erdgas-Sauerstoff-Brennern am Kupolofen wurde im Rahmen eines BMBF-Vorhaben „Ökologische und Ökonomische Optimierung des Kupolofen - Schmelzprozesses durch den Einsatz von Erdgas-Sauerstoff Brennern bei gleichzeitig möglicher Feststoffinjektion“ untersucht.

Das mit dem Kurznamen »KUPOLOPT« bezeichnete Verbundforschungsvorhaben diente der ökonomischen und ökologischen Optimierung von Kupolöfen in Gießereien. Versuche mit Erdgas-Sauerstoff-Brennern wurden an einem Langzeit-Heißwind-Kupolofen der Firma Küttner GmbH bei der Fa. Fritz Winter Eisen-gießerei GmbH & Co. KG über einen Zeitraum von 3 Jahren gefahren.

*Verbundforschungsvorhaben  
»KUPOLOPT«*

Angestrebt wurden die Verbesserung der Schmelzleistung, Reduzierung der Emissionen sowie die Wiederverwendung von Gießereistäuben und gießereifremden Stäube. Im Mittelteil des Schmelzofens, der heißen Schmelzzone, wird dem Schmelzofen über Blasformen vorgewärmte Verbrennungsluft zugeführt. In diesen Blasformen können Staublanzen integriert werden, mit denen sich Gießereistäube direkt in den Schmelzofen einblasen lassen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass das Einblasen von Gießereistäuben den Schmelzofen an der Einblasstelle abkühlt.

In Versuchen der Air Products GmbH wurde nachgewiesen, dass die auf Grund des Einsatzes von Erdgas-Sauerstoff Brennern unerwünschte Abkühlung im Einblasbereich verhindert werden kann. Darüber hinaus können Erdgas-Sauerstoff-Brenner zur Energieversorgung des Schmelzprozesses beitragen und den Kokseinsatz reduzieren.

Durch den Einsatz von Erdgas-Sauerstoff-Brennern ändert sich der eingestellte energetische Haushalt des Schmelzofens.

Die Ergebnisse zeigen eine Steigerung der Schmelzleistung bei einer Reduzierung des Koksensatzes. Weiterhin konnten beim Einsatz von Erdgas-Sauerstoff-Brennern gegenüber der konventionellen Betriebsweise Mangan und Silizium-Presslinge eingespart werden.

Wegen des stärkeren Einsatzes von Sauerstoff sinkt auch der Bedarf an spezifischen Heißwind wodurch weniger Heißwindenergie in den Schmelzofen eingetragen werden muss.

Allerdings steht den energetischen Einsparungen ein vermehrter Einsatz der Erdgasenergie gegenüber, so dass nach [11] mehr Energie zum Erschmelzen des Basiseisens in den Schmelzofen eingetragen werden muss.

### 1.3 Einsatz des Sequenz-Impuls-Verfahren

In der Gießereiindustrie wird die zum Gießen benötigte Schmelze nach [43] überwiegend im Kupolofen mit Heißwindbetrieb erschmolzen.

Um die Verbrennung zu fördern, wird Sauerstoff zugeführt. Die Entwicklung der Verfahren zur Sauerstoffzufuhr begann mit der Sauerstoffanreicherung des Heißwindes und führte zur direkten Injektion ins Koksbett.

Als Weiterentwicklung folgte die Injektion des Sauerstoffes mit Überschallgeschwindigkeit. Das Einbringen des Sauerstoffes mit Überschallgeschwindigkeit kann aber an Grenzen bei der Durchdringung des Koksбетtes führen, da ein Großteil der kinetischen Energie des gebündelten Strahls beim Aufprall auf den Koks verbraucht wird.

Neu ist die Überlagerung eines konstanten Sauerstoffstromes mit einer kurzzeitigen im-pulsartigen Sauerstoffzufuhr über konventionelle Lanzen. Erreicht wird damit ein tiefes Eindringen des Sauerstoffes in die Beschickungssäule und eine gleichmäßige Durchgasung.

Damit verbunden sind die Auflockerung des Koksбетtes und eine gute Verbrennung auch im Inneren der Koksschüttung durch ein kurz-zeitiges lokales Überangebot an Sauerstoff

Durch das von der ThyssenKrupp *AT.PRO tec GmbH* entwickelte Sequenz-Impuls-Verfahren führte bereits an Kupolöfen mittlerer Bauart mit Durchmesser von 1200 mm bis 1800 mm zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Kupolofenbetriebes.

## 1.4 Kokseinsparung eines futterlosen, wassergekühlten Heißwind-Kupolofen gegenüber einem Kaltwind-Kupolofen

Der Koksbedarf zum Schmelzen von 1000 kg Eisen im Kaltwind-Kupolofen, dessen Innendurchmesser größer als 750 mm ist, wird nach [7] wie nachfolgend dargestellt angegeben:

Abstichtemperatur [°C]	Koksbedarf [kg/t Eisen]
1.400	95
1.426	110
1.454	125
1.482	140
1.510	155
1.538	170

Tabelle 1: Koksbedarf zum Schmelzen von 1000 kg Eisen in einem feuerfest ausgekleideten Kaltwind-Kupolofen

Bei Heißwind-Kupolöfen ersetzt die Luftvorwärmung einen Teil des Schmelzkoksbedarfs. Angaben der Literatur zufolge werden je 100 °C Windtemperatur etwa 8 kg Koks/t Eisen eingespart.

Unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes und unter Berücksichtigung des in Tabelle 1 dargelegten Koksbedarfes lässt sich folgende Berechnung erstellen:

Für einen futterlosen, wassergekühlten Heißwind-Kupolofen mit einer Schmelzleistung von 20 t/h und einer Abstichtemperatur von 1510 °C erhält man einen Koksbedarf von 155 kg/t Eisen, obgleich dieser Wert zunächst nur für den feuerfest ausgekleideten Kaltwind-Kupolofen gilt.

Für eine Heißwind-Temperatur von 420 °C, etwa 400 °C über Raumtemperatur, ergibt sich eine Kokseinsparung von  $8 \cdot 4 = 32$  kg.

Bei einem angenommenen Ofendurchmesser von 1800 mm wäre bei Wasserkühlung der zu deckende Wärmeverlust nach Abbildung 14 mit einem zusätzlichen Koksbedarf von etwa 8 kg/t Eisen auszugleichen. Daraus folgt ein Gesamtbedarf von  $155 - 32 + 8 = 131$  kg Koks/t Eisen.

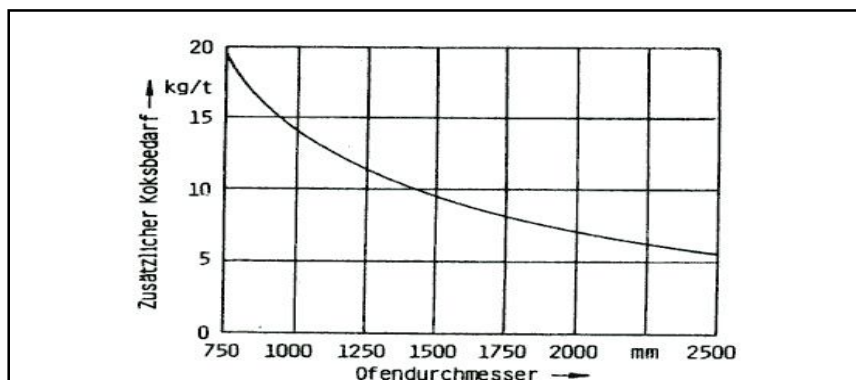


Abbildung 4: Zusätzlicher Koksbedarf bei futterlosen, wassergekühlten Kupolöfen

*[7] F. Neumann, Gusseisen - Schmelztechnik, Metallurgie, Schmelzbehandlung, 1999, Expert Verlag, S. 186*

*[11] Ökologische und Ökonomische Optimierung von des Kupolofen-Schmelzprozesses durch den Einsatz von Erdgas-Sauerstoff Brennern bei gleichzeitig möglicher Feststoffinjektion; BMBF-Förderprogramm; Integrierter Umweltschutz in der Gießereiindustrie; 2003*

*[20] St. Hasse; Merkmale, Wirtschaftlichkeit und Entwicklungstendenzen des Kupol- und Induktionsprozesses in Eisengießereien; Gießerei-Rundschau; 1991; 11/12 November/Dezember*

*[30] Merkblatt über Beste Verfügbare Techniken in der Gießereiindustrie; Umweltbundesamt; Juli 2004*

*[43] Sauerstoff hilft; Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Kupolofenbetriebes Giesserei 95; 03/2008*