

Stand der Technik bei Kupolofenanlagen

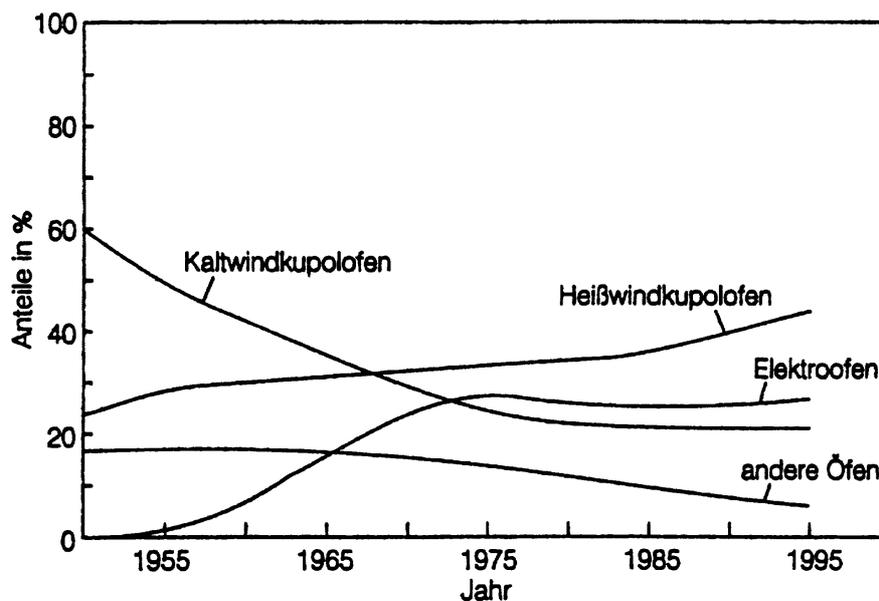
Stand 27.07.2005

Dr. Bernd-Michael Kemper
Referat Umwelttechnologie
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Hertzstraße 173
76187 Karlsruhe
bernd-m.kemper@lfuka.lfu.bwl.de

1. Technik

Zum Erschmelzen von Eisen zum Einsatz in Gießereien werden v.a. Kupolöfen, in kleineren Gießereien hauptsächlich Elektroöfen (überwiegend Induktionsöfen) sowie vereinzelt Drehtrommelöfen verwendet.

Bei den Kupolöfen hat in den letzten Jahren die Anzahl der Heißwindkupolöfen, bei denen die Abgase zur Luftvorwärmung verwendet werden, zugenommen, die Anzahl der Kaltwindkupolöfen hingegen hat abgenommen.



Anteile der Schmelzverfahren an der Gusserzeugung [1]

Der Kupolofen ist vom Prinzip her ein Schachtofen, er wird von oben mit Brennstoff (Koks), Eisen (Roheisen, Kreislaufmaterial, Schrott) und Zuschlägen (Kalk) befüllt. Im unteren Teil des Ofens wird Luft eingeblasen. Bei der Verbrennung des Kohlenstoffs entstehen hohe Temperaturen:



Dabei schmilzt das Eisen, es wird nach unten abgelassen.

Die Wärme wird im Gegenstrom an das von oben zugeführte Material übertragen. Dort steht das Verbrennungsprodukt Kohlendioxid und der zugeführte Koks in einem Reaktionsgleichgewicht mit Kohlenmonoxid:



Im Abgas befinden sich daher hohe Konzentrationen an Kohlenmonoxid.

Das Abgas kann seitlich am Ofen abgesaugt (**Untergichtabsaugung**) und thermisch genutzt werden.

Wird das Abgas im Bereich der Aufgabe abgezogen (**Obergichtabsaugung**), wird zumindest während der Beschickung Falschluff zugeführt und eine thermische Nutzung wird unwirtschaftlich.

1.1 Kaltwindkupolofen

Beim Kaltwindkupolofen wird die Verbrennungsluft kalt zugeführt, da das Abgas thermisch nicht genutzt wird (Obergichtabsaugung), es handelt sich meist um kleinere Öfen (2 – 10 t/h).

Der Kaltwindkupolofen besitzt einen hohen spezifischen Koksverbrauch, da ein Großteil der Energie latent als Kohlenmonoxid mit dem Abgas ausgetragen wird.

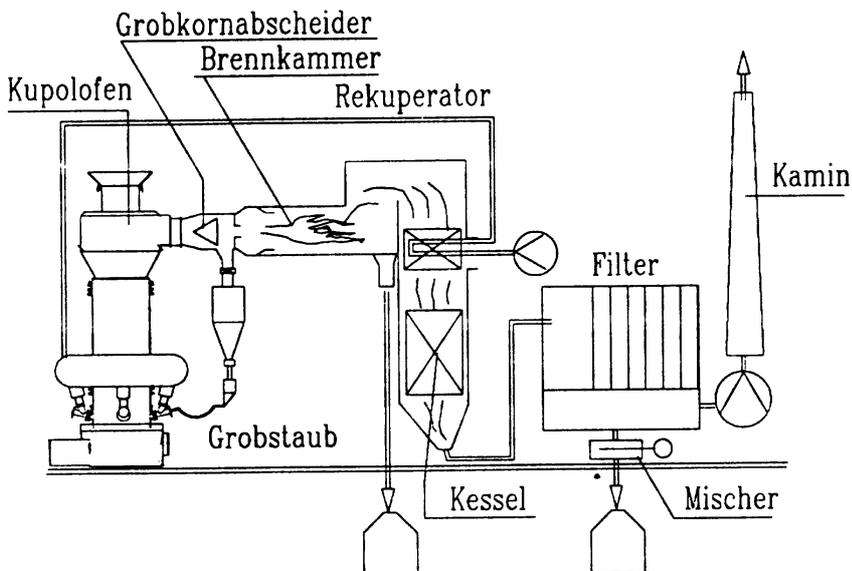
Durch folgende Maßnahmen kann der Energieverbrauch gesenkt werden:

- Zuführung von Sekundärluft oberhalb der Schmelzzone
- Eindüsen von Sauerstoff

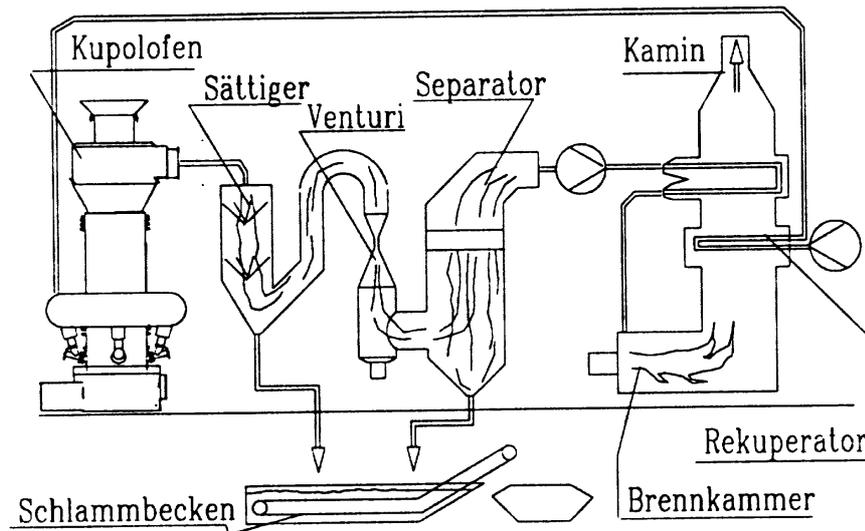
Zur Staubabscheidung werden Wäscher und zunehmend Gewebefilter eingesetzt.

1.2 Heißwindkupolofen

Beim Heißwindkupolofen wird das CO-reiche Abgas in einer Brennkammer verbrannt und die entstehende Wärme zur Luftvorwärmung genutzt. Die Staubabscheidung kann nass (Wäscher) oder trocken (Gewebefilter) erfolgen, heute gelten Gewebefilter als Stand der Technik.



Kupolofen mit trockener Entstaubung [1]



Kupolofen mit nasser Entstaubung [1]

1.3 Neuere Entwicklungen

Bei den koksbeheizten Kupolöfen gibt es einige Varianten und Weiterentwicklungen:

- ◆ FAR-Ofen: Nur die metallischen Komponenten werden über den Zentralschacht, Koks und Zuschläge seitlich zugeführt. Die Verbrennungsluft wird mit Sauerstoff angereicherte, die Kohlenmonoxidhaltigen Abgase werden über eine Sekundärdüsenreihe nachverbrannt.
- ◆ Plasma-Winderhitzung: Mittels Plasmabrennern wird die Verbrennungsluft auf über 1000 °C erhitzt.
- ◆ Kupolofen mit Verbrennung mit reinem Sauerstoff und Gasrückführung: Zur Verbrennung wird reiner Sauerstoff zugeführt, ein Teil des Abgases kann in den Ofen zurückgeführt und dort nachverbrannt werden. Da das Verbrennungsprodukt Kohlendioxid aus dem Kreislauf entfernt werden muss, ist nur eine teilweise Abgasrückführung möglich.
- ◆ Beim „**kokslosen Kupolofen**“ (System Düker) wird als Brennstoff Heizöl oder Erdgas verwendet. Die durch den Einsatz von Koks bedingten hohen Emissionen von Kohlenmonoxid bei herkömmlichen Kupolofenanlagen werden somit vermieden. Es gibt mittlerweile einige wenige Anlagen in Deutschland, sie zeichnen sich durch geringe Emissionen und einen niedrigen spezifischen Energieverbrauch aus.

2. Regelwerke:

In der TA Luft 1986 werden Kupolöfen unter der Kategorie Erschmelzen von Gusseisen geführt, in der TA Luft 2002 unter Gießereien allgemein, d.h. die angegebenen Grenzwerte gelten auch für die Abgießstrecken.

	TA Luft 1986, Nr. 3.3.3.3.1	TA Luft 2002, Nr. 5.4.3.7.1
Staub	Obergichtabsaugung: 20 mg/m ³ Untergichtabsaugung : 50 mg/m ³	Allg. Staubgrenzwert nach 5.2.1 20 mg/m ³ oder 0,2 kg/h Altanlagen: Bei Nassabscheidern ab 2010
Kohlenmonoxid	Heißwindkupolöfen: 1,0 g/m ³ , ansonsten möglichst verwerten oder verbrennen	0,15 g/m ³ Bei Untergichtabsaugung: Abgase erfassen und nachverbrennen Altanlagen ab 2010
Schwefeloxide		0,50 g/m ³
Benzol	2.3: 5 mg/m ³ bei ≥ 25 g/h	5 g/h oder 5 mg/m ³
Amine (nur für das Abgießen relevant)		25 g/h oder 5 mg/m ³ Altanlagen ab 2010

Allgemeine Grenzwerte,

die für im Abgas von Kupolofenanlagen auftreten können und für die in der TA Luft 2002 z.T. neue Grenzwerte festgelegt wurden

	TA Luft 1986	TA Luft 2002
Gesamt-Kohlenstoff	Keine Festlegung als Gesamt-C	0,5 kg/h oder 50 mg/m ³
Fluorwasserstoff	5 mg/m ³	15 g/h oder 3 mg/m ³
Chlorwasserstoff	30 mg/m ³	0,15 kg/h oder 30 mg/m ³
Cadmium, Arsen, Chrom	0,2 / 1 / 5 mg/m ³	0,15 g/h oder 0,05 mg/m ³
Benzo[a]pyren	0,1 mg/m ³	0,15 g/h oder 0,05 mg/m ³
1,3-Butadien, Vinylchlorid	5 mg/m ³ bei ≥ 25 g/h	2,5 g/h oder 1 mg/m ³
PCDD/PCDF		0,25 µg/h oder 0,1 ng/m ³
Formaldehyd		0,1 kg/h oder 20 mg/m ³

Seit Mai 2005 gibt es das BVT-Merkblatt „Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry“, in dem auch Kupolöfen behandelt werden.

3. Daten in Baden-Württemberg

3.1 Datenbank START

8 Ofenanlagen, alle mit Gewebefilter ausgestattet

Schadstoff	Messwert	Bemerkungen
Staub	0,5 – 4,2 mg/m ³	7 Anlagen
CO	29 – 45 g/m ³ Kaltwind 14 / 85 mg/m ³ Heißwind	2 Anlagen 1 Anlage
SO ₂	30 – 480 mg/m ³	
NO _x	6 – 188 mg/m ³	
PCDD/F	0,007 ng/m ³	1 Anlage

3.2 Emissionserklärungen 1996

12 Ofenanlagen, meist mit Zyklon /Filter, 1 Anlage mit TNV / Wäscher

Schadstoff	Messwert	Anz. Anl.	Bemerkungen
HCl	1 – 1,6 mg/m ³	2	
Cl ₂	0,23 / 0,3 mg/m ³	1	
HF	0,14 – 0,7	3	
HBr	0,18 mg/m ³	1	
PCDD/F	0,07 – 0,095 ng/m ³	3	
Formaldehyd	0,055 mg/m ³	1	
Phenole	0,14 / 0,17 mg/m ³	1	
Benzol	0,1 mg/m ³	1	
Benzo[a]pyren	6,1 / 8,5 µg/m ³	1	
Cadmium	0,3 – 3 µg/m ³	3	
Blei	0,14 / 0,25 mg/m ³	1	

4. Maßnahmen zur Überwachung / Schadstoffminderung

Maßnahmen zu CO-Minderung:

Nach der TA Luft 1986 gab es für Kaltwindkupolöfen nur eine Empfehlung, Kohlenmonoxid zu verbrennen oder zu verwerten. Da größere Kupolöfen ohnehin meist als Heißwindkupolöfen ausgeführt sind, wurde diese Empfehlung für die kleineren Kaltwindkupolöfen aus Gründen der Verhältnismäßigkeit meist nicht umgesetzt.

Nach TA Luft 2002 sind Kupolöfen mit Untergichtabsaugung mit einer Nachverbrennung auszustatten, wobei ein Grenzwert für Kohlenmonoxid von 0,15 g/m³ gilt.

Bei Öfen mit Obergichtabsaugung (i.d.R. Kaltwindkupolöfen) ist wegen der Verdünnung des Abgases beim Beschicken des Ofens eine Nachverbrennung nicht wirtschaftlich und nach TA Luft 2002 auch nicht zu fordern.

Kontrolle des Ausbrandes

Wegen der prozessbedingt hohen Emissionswerte für Kohlenmonoxid können diese nicht als Kriterium für die Ausbrandqualität dienen.

Ungünstige Einsatzmaterialien (lackierte Metallteile, Verunreinigungen z.B. durch Ölreste) können beim Aufheizen im Schacht durch Pyrolyse zu Emissionen verschiedenster thermischer Abbauprodukte führen, insbesondere bei Kaltwindkupolöfen ohne Nachverbrennung.

Zur Kontrolle des Ausbrandes wird daher empfohlen, die Emissionen an **Gesamt-Kohlenstoff** messtechnisch zu erfassen.

Staub

Die bei hohen Temperaturen entstehenden Partikeln sind sehr fein (< 2,5 µm), mechanische Abscheider kommen daher nicht in Frage. In der Vergangenheit wurden Nasswäscher eingesetzt, heute werden praktisch nur noch Gewebefilter verwendet. Die abgeschiedenen Stäube können wieder in den Ofen eingeblasen werden. Da sich durch Kreislaufführung leichtflüchtige Metalle (z.B. Zink) im Filterstaub anreichern können, sind nach Erreichen bestimmter Metallgehalte die Filterstäube auszuschleusen, sie können z.B. zur Zinkgewinnung eingesetzt werden.

Schwefeldioxid, Stickstoffoxide:

Kupolöfen besitzen niedrige Kaminhöhen, daher ist zu prüfen, ob z.B. Immissionswerte für Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid überschritten sein können.

Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine bzw. -furane, polycyclische Aromaten:

Diese Stoffe werden meist an Staub gebunden emittiert, so dass bei Einsatz wirksamer Gewebefilter nicht mit erhöhten Emissionen zu rechnen ist.

Die vorliegenden Messergebnisse zeigen, dass die Grenzwerte in Baden-Württemberg eingehalten sind, bei Kaltwindkupolöfen liegen die Messwerte höher als bei Heißwindkupolöfen.

Andererseits haben Messungen in Bayern ergeben, dass bei gerade bei Heißwindkupolöfen erhöhte Konzentrationen von PCDD/DF auftraten, die wurde auf die de-novo-Synthese (Temperatur in der Brennkammer bzw. im Rekuperator) zurückgeführt.

Messungen bei anderen Anlagenarten haben gezeigt, dass bei hohen Kohlenmonoxid- und Chlorkonzentrationen hohe PCDD/F-Werte beobachtet wurden. Wenn chloridarme Materialien (Schrott, Koks) eingesetzt werden sowie günstige Ausbrandbedingungen vorliegen, dürfte der Grenzwert von 0,1 ng/m³ eingehalten sein.

Polycyclische Aromaten (Leitsubstanz Benzo[a]pyren) treten ebenfalls bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen auf (Einsatz lackierte bzw. ölige Schrotte).

Messergebnisse bzgl. Chlorwasserstoff und Gesamt-Kohlenstoff können daher als Kriterium dienen, ob zusätzliche Messungen von PCDD/F oder polycycl. Aromaten erforderlich sind.

Benzol

Benzol entsteht vorwiegend beim Abgießen in Gießereien (Zersetzung der Form- und Kern-Bindemittel). Bei der Pyrolyse lackierter oder öliger Metallteile kann auch im Kupolofen Benzol entstehen, insbesondere bei Kaltwindkupolöfen.

In Baden-Württemberg gibt es Angaben zu Benzolemissionen nur für eine Anlage (Emissions-erklärungen 1996).

Hohe Konzentrationen an Gesamt-Kohlenstoff können auch hier ein Hinweis auf erhöhte Benzol-Emissionen sein.

Amine

Amine entstehen beim Abgießen, die messtechnische Erfassung bei Kupolöfen ist normalerweise nicht erforderlich.

Schwermetalle:

Durch problematische Einsatzmaterialien (Schrott, Koks) kann es zu erhöhten Emissionen von Schwermetallen (Arsen, Cadmium) kommen. Die hier vorliegenden Ergebnisse geben auch hier zu keinen Anlass, dass Grenzwerte deutlich überschritten sein könnten.

5. Literatur

[1] Neumann, Franz: Gusseisen, expert-verlag, Renningen-Malmsheim, 2. Aufl. 1999