



FOTO: SHB

Der DS-Lichtbogenofen in der Stahlgießerei

Möglichkeiten zu höherer Energieeffizienz beim Schmelzen

Modernisierter DS-Lichtbogenofen IHF 31 /3,5 beim Abstich (Hersteller: KGYV, Ungarn), Modernisierung 2012 durch Elektro-Industriemontagen GmbH Riesa.

VON PETER KUHLOW, PARCHIM, UND
GUNTHER SACHSE, LEIPZIG

Der Lichtbogenofen wurde erstmals 1906 in einer Stahlgießerei in Remscheid-Hasten für Werkzeugstahl eingesetzt. Fast 100 Jahre später wurde in Remscheid-Lüttringhausen von der Nachfolgefirma SMS Demag der modernste DS-Lichtbogenofen Europas (Bild 1) mit 3,5 t Fassungsvermögen,

4 MVA Nennleistung, wasserführender Deckel- und Obergefäßzustellung, Programmsteuerung, Fehler- und Störungsdiagnose mit Visualisierung und digitaler Elektrodenregelung mit hydraulischer Elektrodenverstellung errichtet. Bei diesem Ofen wurden nach Optimierung in mehreren Etappen Elektroenergieverbrauchswerte von 722 kWh/t Flüssigstahl für den gesamten metallurgischen Zyklus erreicht [1, 2].

Leistungs- und Energieeffizienz- entwicklung

Erhöhte Anforderungen an die Energieeffizienz hatten direkte Vergleiche zum Schmelzen im Lichtbogen- und Induktions-tiegelofen auf der Basis vergleichbarer Stahlqualitäten zur Folge. Bei diesem Vergleich wird aber übersehen, dass sich beide Ofenarten grundsätzlich unterscheiden: Während beim Induktionstiegelofen ein Tiegelverfahren mit vergleich-



Bild 1: DS-Lichtbogenofen mit wasserführender Deckel- und Obergefäßzustellung, 3,5 S 2,4/4 Schnauze, Inbetriebnahme 2000 (Hersteller: SMS Demag).

bar geringer Badoberfläche vorliegt, wird beim Lichtbogenofen das Herdverfahren mit relativ großer Badoberfläche genutzt, was vorteilhaft für metallurgische Arbeiten ist. Ausdrücklich wird darauf hingewiesen, dass nicht nur im Induktionsofenbau, sondern auch im Lichtbogenofenbau entscheidende technisch-technologische Fortschritte realisiert wurden, die zu bemerkenswerten Kennzahlenentwicklungen geführt haben [3, 4].

Zur Energieeffizienz im Schmelzbetrieb durch optimierte Fahrweise von MF-Induktionsöfen ist in [5] ein empfehlenswerter Fachbericht zu finden, der differenzierte Vergleiche zum DS-Lichtbogenofen ermöglicht (Einschmelzen, Fertigmachen). Nachfolgend werden die verschiedenen Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch und die Verbrauchszahlen quantifiziert.

Einflussfaktoren für die Energieeffizienz

Die Energieeffizienz von Lichtbogenöfen wird von vielfältigen Faktoren beeinflusst. Dabei haben technische und technologische Weiterentwicklungen zu bemerkenswerten Verbesserungen geführt. Leistungsstarke DS-Lichtbogenöfen können nach durchgeführten Berechnungen maximale Lichtbogenbogentemperaturen von etwa 7000 bis 8000 °C erreichen [6]. Die Verbesserungen betreffen insbesondere die Drosselspulen, die Ofentransformatoren, die Hochstromleitungen einschließlich Grafitelektroden, die Automatisierungstechnik einschließlich Elektrodenregelung, die Energiebezugssteuerung, den Ofenbau, die Zustellungsart und -qualität sowie Metallurgie und Technologie (Tabelle 1).

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind oft Kompromisse erforderlich, die sich negativ auf die Schmelzleistung, den Energie-, Elektroden- und Zustellungsverbrauch u. a. auswirken können.

KURZFASSUNG:

Die historische Entwicklung und die Stellung des Induktionsofenbaus in Deutschland haben dazu geführt, dass der Lichtbogenofen (LBO) in der Bewertung benachteiligt wurde.

In Deutschland sind in den Stahlgießereien und Walzgießereien Lichtbogenöfen von 3 bis 50 t Nennfassung mit teilweise hohem Alter und großem Modernisierungsbedarf im Einsatz. Im Lichtbogenofenbau wurden in den letzten Jahrzehnten entscheidende technisch-technologische Fortschritte realisiert, die zu bemerkenswerten Kennzahlenentwicklungen geführt haben. Erhöhte Anforderungen an die Energieeffizienz führen auch zu Vergleichen von Induktionstiegelöfen und Lichtbogenöfen, eine gleiche Basis vorausgesetzt. In diesem Beitrag werden für solche Vergleiche Werte angegeben.

Die Grafitelektrodenqualität (spezifischer Widerstand 5 bis 8 Ω μm) hat mit einem Anteil von 0,071 mΩ pro 1 Ω μm Einfluss auf den Verlustwiderstand der Ofenanlage [3]. Bei einem mittleren Elektrodenstrom von 10 kA sind das um 22,1 kWh/h höhere Energieverluste. Etwa 25 % der im Elektrodenstrang erzeugten Stromwärme sind davon im Ofen nutzbar. Damit wird ein maximaler elektrischer Wirkungsgrad von 0,94 bei einer gut dimensi-

onierten und gewarteten Ofenanlage erreicht. Bei der Wahl der Elektrodenqualitäten spielen häufig niedrige Angebotspreise eine Rolle.

Die temperaturabhängigen Wärmeverluste eines konventionell zugestellten, betriebswarmen Ofens zeigt Tabelle 2.

Geringe zeitliche Auslastung des Lichtbogenofens führt zu höheren Speicherwärmeverlusten, für die in Tabelle 3 Faktoren angegeben sind.

Tabelle 1: Entwicklung des elektrischen Wirkungsgrades η_{el} (Lichtbogenleistung/ aufgenommene Wirkleistung) von DS-Lichtbogenöfen in Stahlgießereien, 3- bis 8-t-LBO, GE 254 mm (GE – Grafitelektroden).

Jahr	Bemerkung	η_{el}
1950/60	Stahlgussklemmbacken, $\rho_{GE} = 9 \Omega \mu m$, Ferraris-, Transduktoren-, Tauchspul-Regler	0,88
1970/80	Kupferklemmbacken, $\rho_{GE} = 6-7 \Omega \mu m$, optimierte Hochstromleitungen	0,90
aktuell	optimierte Anlagentechnik, digitale Regler, $\rho_{GE} = 5-6 \Omega \mu m$, höhere Ofenspannungen	0,92-0,94

ρ_{GE} – spezifischer elektrischer Widerstand Grafitelektroden

Tabelle 2: Wärmeverluste eines neu zugestellten, betriebswarmen 6-/8-t-DS-Lichtbogenofens (Rauchgasklappe geschlossen) [2]*.

Einsatz	Einsatz-/Badtemperatur in °C	Wärmeverluste	
		in kWh/h	in kWh/min
Einschmelzen flüssig	20 ... 1530	240	4,0
	1500	500	8,3
	1600	647	10,8
	1700	825	13,7

*Einflussnahme über Zeit, Temperatur und Einsatzmasse möglich

Tabelle 3: Einfluss der Speicherenergie auf den Elektroenergieverbrauch eines 6-/8-t-DS-Lichtbogenofens (konventionelle Zustellung)**.

Chargen-Nr.	Bemerkung	Faktor	Einschmelzen in kWh/t	Gesamt in kWh/t
1	Kaltstart	1,22	488	732
2		1,10	440	660
3		1,03	413	619
4		1,01	405	607
5	betriebswarm	1,00	400	600

**Einflussnahme über zeitliche Auslastung und Einsatzmasse und durch optimale Ofenzustellung möglich

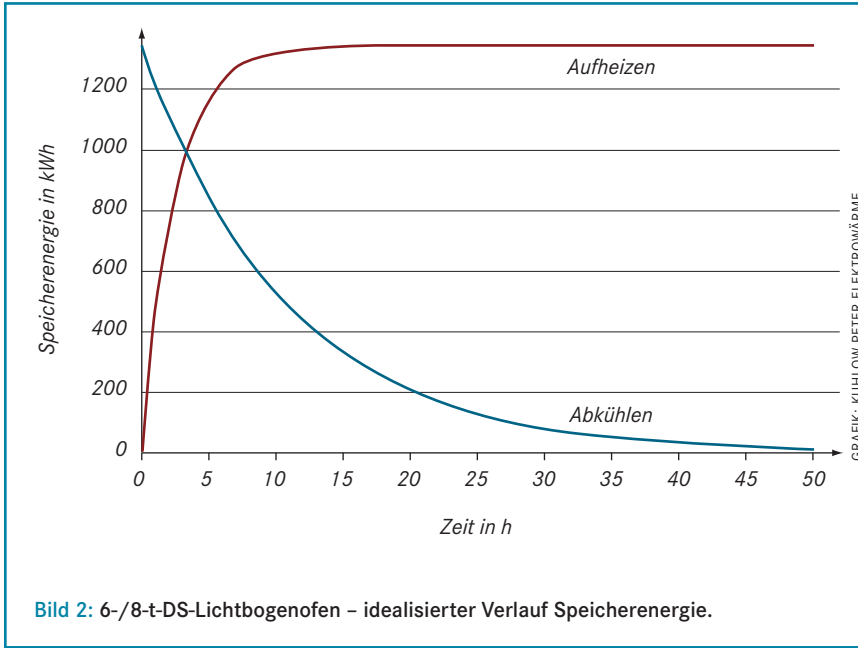


Bild 2: 6-/8-t-DS-Lichtbogenofen – idealisierter Verlauf Speicherenergie.

GRAFIK: KUHLOW PETER ELEKTROWÄRME

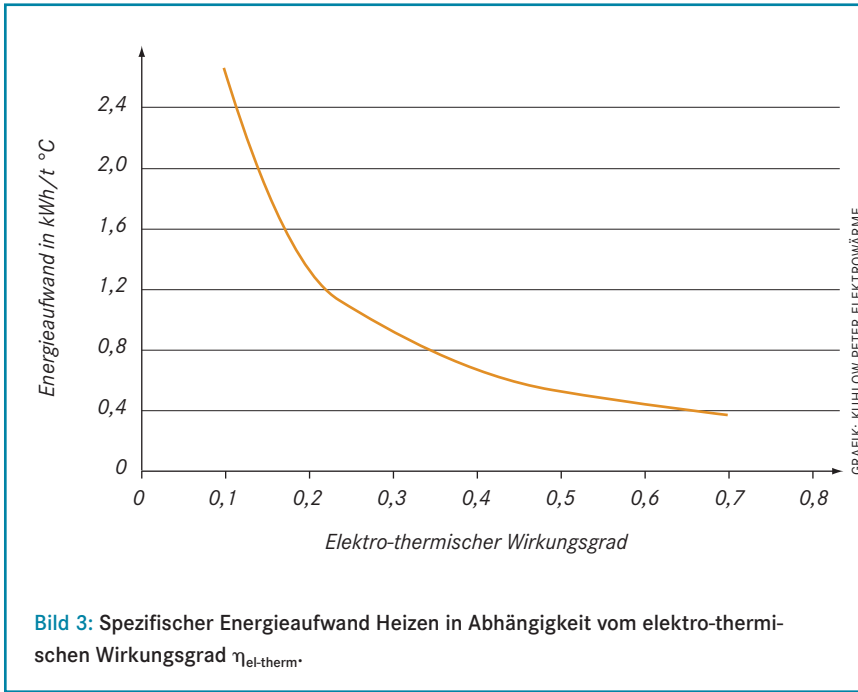


Bild 3: Spezifischer Energieaufwand Heizen in Abhängigkeit vom elektro-thermischen Wirkungsgrad $\eta_{el-therm}$.

GRAFIK: KUHLOW PETER ELEKTROWÄRME

Bild 2 stellt den idealisierten Verlauf der Speicherenergie dar.

Über Verkürzungen der Prozesszeit, besonders beim Einschmelzen, können die Wärmeverluste verringert werden.

In der Literatur [7] wurde ein 5-t-Lichtbogenofen mit einer Einschmelzzeit von 3,5 h beschrieben. Die Daten dafür wurden in Tabelle 4 (Zeile in Fettdruck) näherungsweise berechnet.

Mit den Enthalpiewerten für Stahl und Schlacke [7] und dem spezifischen Elektroenergieaufwand für unterschiedliche Heizraten in Abhängigkeit vom elektrothermischen Wirkungsgrad (Bild 3), können die Energiebilanzen für vorgegebene Bedingungen und Einsatzmassen (Bild 4) sowie Tabellen für das Einschmelzen (Tabelle 4) und Heizen (Tabelle 5) erstellt werden.

Die Warmhalteleistung für definierte Bedingungen kann man praktisch ermitteln, indem für verschiedene Heizraten, z. B. für 1 und 10 °C/min die Energieeinträge in kWh/h (x-Achse) gemessen werden. Der Schnittpunkt der Heizkurve mit der x-Achse bei 0 °C/min ergibt dann die Warmhalteleistung. Daraus können nach Abzug der elektrischen Verluste die Wärmeverluste bestimmt werden.

Einflussnahme durch Service und Messungen

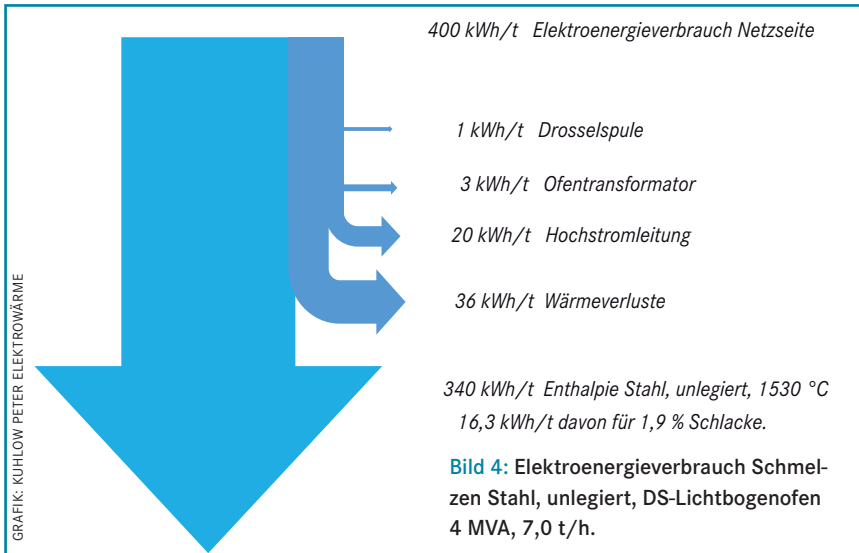
Diese, für die Betreiber von Lichtbogenöfen wichtigen Dienstleistungen zum Erreichen optimaler Anlagenbedingungen werden seit Bestehen des Ingenieurbüros für Elektrowärme Peter Kuhlow durch ATS Sachse GmbH weltweit weitergeführt. Die unterschiedlichsten, im Folgenden genannten Aufgaben werden im Rahmen einer Serviceleistung behandelt, um die Aggregate leistungsfähig und optimal betreiben zu können:

- > Berechnung, Auslegung von Transformatoren und Drosselspulen,

Tabelle 4: Einschmelzen 6-/8-t-LBO, max. 4 MVA (betriebswarmer Ofen), Zeile 1: Werte eines LBO von 1929.

Energie in kW/h	$P_{spezif.}$ in kW/t	$t_{Einschm}$ in h	Spez. EEV in kW/t	Leistung in $t_{Einsatz}/h$	P_{verl} in kWh/h	S_{trafo} in MVA
<i>Einsatz: 6 t</i>						
850	142	3,45	488,5	1,74	25,8	1,1
2000	333	1,25	416,4	4,80	85,7	2,6
2600	433	0,95	412,3	6,31	144,9	3,3
3200	533	0,75	415,9	7,69	219,4	4,1
<i>Einsatz: 7 t</i>						
2000	286	1,42	405,5	4,93	85,7	2,6
2600	357	1,13	402,0	6,22	133,9	3,4
3200	457	0,89	405,1	7,90	219,4	4,1
<i>Einsatz: 8 t</i>						
2000	250	1,59	397,3	5,03	85,7	2,6
2600	325	1,21	394,2	6,60	144,9	3,3
3200	400	0,99	396,9	8,06	219,4	4,1

$P_{spezif.}$ – spezifische Transformatorleistung, P_{verl} – elektrische Verlustleistung, EEV – Elektroenergieverbrauch, S_{trafo} – Scheinleistung, $t_{Einschm}$ – Einschmelzzeit



- > theoretische Berechnung von Kennzahlen pro Transformatorstufe,
- > Beratungen bei Umbaumaßnahmen oder Gesamtmodernisierungen,
- > Einschätzung, Reaktanzberechnung vom Hochstromsystem,
- > Erstellen von Einschmelzprogrammen mit Hinweisen zu Fahrweisen,
- > Einstellung analoger, elektronischer Regelungen auf optimale Sollwerte,
- > Service, Beratungen zu Fehlern im Betriebsverhalten mittels messtechnischer Untersuchungen,
- > Berechnung, Austausch von Hochstromkabeln, Erarbeitung von Sonderlösungen,
- > Beschaffung, Reparatur älterer Reglerbauteile (BBC, Feig, KGYV), die nicht mehr lieferbar sind,
- > Nachfertigung von elektronischen Baugruppen (Reglerkarten) als Sonderlösung und
- > begleitende Inbetriebnahmen nach Umbaumaßnahmen oder Gesamtmodernisierungen.

Zum Nachweis der aktuellen Betriebsverhältnisse werden Messungen mittels Leistungsmessgerät AC Power Analyzer nach geltender Prüfnorm IEC 60676 durchgeführt. Je nach Aufgabenstellung sind bis 4 Chargen notwendig, um mögliche Fehlerquellen elektrisch, elektrothermisch oder mechanisch zu erkennen. Nach Fehlerbehebung oder Einstellung der Regler sind Folge-Chargen notwendig, bis die optimalen Betriebsbedingungen erfüllt sind. Ein Messintervall ist auf 60 s festgelegt, gemessen wird vom Start bis zum Abstich. Das Messprotokoll beinhaltet:

- > aktuelle Uhrzeit,
- > Sekundärstrom/Phase und Mittelwert,
- > Spannung am Messpunkt/Phase und Mittelwert,
- > Wirkleistung/Phase und Mittelwert,
- > Leistungsfaktor $\cos \varphi$ /Phase und Mittelwert,

- > Resistanz/Phase und Impedanz/Phase,
- > Energieverbrauch/Phase und Summe Energieverbrauch (kumulativ),
- > unter Bemerkungen können aktuelle Informationen während der Charge eingetragen werden.

Werte, wie z. B. Einsatzmasse, Chargennummer, kWh-Zählerstand Ofen, Umschaltung Spannungs- und Stromstufen sowie Primärspannung werden erfasst. Es sind Messungen primär- und sekundärseitig möglich. Sollten keine Wandler vorhanden sein, erfolgt der Aufbau einer Messschaltung mittels Rogowski-System (Klasse 1) bis max. 20 kA. Mit einer Serviceleistung werden zusätzliche Daten erfasst. Das sind: Leistungsschalter (Schutzeinstellung), Transformator, Drosselspule, Aufbau und Abmessung Hochstromleitung, Elektrodentragsarmführung, Temperaturen von Anlagenteilen mittels Wärmebildkamera u. a. Die Auswertungen nach allen Messungen im Vergleich zu den Wertetabellen für Ofenkennlinien lassen Aussagen über zweckmäßige Arbeitsbereiche zu. Zusätzliche Betrachtungen über Einschmelzzeiten (min), Heizraten ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$), Strahlungsindex mit Abstandsfaktor (MWV/m^2) und Kochfaktor, Einstellwerte in Abhängigkeit vom Einsatz, spezifischen Elektroenergieverbrauch (kWh/t) und GE-Verbrauch (kg/t) sind möglich. Damit sind die Einflussfaktoren hinsichtlich einer höheren Energieeffizienz messtechnisch erfasst. Durch gezielte Instandhaltungsmaßnahmen, Einstellung oder Reparatur können effektivere Verbrauchswerte wieder erzielt werden. Außerdem sind zusätzliche Verbesserungen durch Kennlinienberechnungen mit effizienteren Einstellwerten für die Regelung erreichbar.

Einflussnahme durch Kontrolle, Instandhaltung

Ein betriebsinternes Qualitätsmanagement bewertet monatlich Daten zu Ver-

bräuchen. Mit Auswertungen und Kontrollen kann zeitnah Einfluss auf Veränderungen genommen werden.

Nach zahlreichen Untersuchungen wurden immer wieder Nachlässigkeiten im Umgang mit Reparaturen, Teilinstandsetzungen oder einfachen Wartungsmaßnahmen festgestellt. Bereits kleine Fehler können an diesen energieintensiven Aggregaten höhere Verluste und Kosten verursachen, u. a. erhöhte Energie- und Materialverbräuche.

Zusätzlich erhöht sich der Verschleiß an mechanischen Bauteilen – die Lebensdauer von Baugruppen wird verringert. Zu Anlagen älterer Bauart (bis 1990) können durch die ATS Sachse GmbH Wartungs- und Instandhaltungspläne erstellt werden. Des Weiteren werden Wartungen der Lichtbogenofenanlagen als vorbeugende Instandhaltung angeboten. Dazu erfolgt eine Sichtkontrolle aller Anlagenteile, z. B. Schaltzyklen Stufenschalter, Kontrolle von elektrischen Verbindungen an Klemmleisten, lose Verbindungen Hochstromleitung, Überprüfung des Drehmoments bei Schraubenverbindungen, Kontrolle von mechanischen Bauteilen hinsichtlich Deformierung oder Beschädigungen, Undichtigkeiten, Flüssigkeitsverlust, thermografische Aufnahmen mittels Wärmebildkamera und Referenzbildern. Eine Protokollierung durch Checklisten gibt dem Betreiber Sicherheit in der Durchführung der Maßnahmen und zeigt eine Übersicht über Fehler bzw. Missstände auf.

Es wird empfohlen, vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen jährlich durchzuführen. Eine messtechnische Überprüfung der Ofenanlage ist im Abstand von mindestens 2 Jahren zweckmäßig. Sollten sich Verbrauchswerte vorher verschlechtern, sind zeitnahe Instandhaltungsmaßnahmen zur Fehlerursache durchzuführen. Zu den wiederkehrenden Wartungsmaßnahmen können Verträge abgeschlossen werden. Damit ist für alle Beteiligten eine kalkulierbare Kostengrundlage geschaffen.

Einflussnahme durch Optimierung

Basis für eine Einflussnahme durch Optimierung sind Wertetabellen für Ofenkennlinien, die speziell für jeden Lichtbogenofen und die entsprechenden Betriebsbedingungen im Rahmen vielfältiger Aufgabenstellungen bei zahlreichen Ofenuntersuchungen ständig weiterentwickelt wurden.

Für die Auslegung und die Bewertung der elektrothermischen Verhältnisse und wesentlicher Anteile, wie z. B. Drosselspule, Ofentransformator, Hochstromleitung einschließlich Grafitelektroden und Kennzahlen des Ofenbetriebes, sind die Wertetabellen ein effizientes Hilfsmittel (Bild 5).

Für Hersteller und Zulieferfirmen dienen die Berechnungswerte mit als Grundlage für

Tabelle 5: Heizen, Warmhalten 6-/8-t-DS-Lichtbogenofen, 4 MVA (betriebswarmer Ofen, ohne Schlacke).

$t_{liq.}$	6	7	8	6	7	8	6	7	8
Heizrate in °C/min	P_{nutz} in kWh/h			$\eta_{el.-therm.}$			P_{wirk} in kWh/h		
	Badtemperatur: 1500 °C, P_{VW} : 500 kWh/h, P_{WH} : 514 kWh/h								
1	96	112	128	0,16	0,18	0,20	616	632	648
5	481	561	641	0,47	0,51	0,54	1024	1104	1184
10	961	1121	1282	0,62	0,66	0,69	1542	1702	1863
15	1442	1682	1922	0,69	0,73	0,75	2079	2319	2559
	Badtemperatur: 1600 °C, P_{VW} : 647 kWh/h, P_{WH} : 669 kWh/h								
1	96	112	128	0,12	0,14	0,16	770	786	802
5	481	561	641	0,41	0,44	0,48	1182	1262	1342
10	961	1121	1282	0,56	0,60	0,63	1707	1867	2028
15	1442	1682	1922	0,64	0,68	0,71	2245	2485	2725
	Badtemperatur: 1600 °C, P_{VW} : 647 kWh/h, P_{WH} : 669 kWh/h								
1	96	112	128	0,10	0,11	0,13	960	976	992
5	481	561	641	0,35	0,39	0,42	1375	1455	1535
10	961	1121	1282	0,50	0,54	0,58	1904	2064	2225
15	1442	1682	1922	0,59	0,63	0,66	2448	2688	2928

P_{nutz} - Nutzleistung, P_{VW} - Wärmeverluste, P_{WH} - Warmhalteleistung, P_{wirk} - Wirkleistung, $\eta_{el.-therm.}$ - elektrothermischer Wirkungsgrad, t_{liquid} - Badmasse

copyright: Dipl.-Ing. Peter Kuhlow, Elektrowärme, 19370 Parchim Techn. Service: www.ats-sachse.de

Wertetabelle Ofenkennlinien Datum: 2.04.2016 kA

Firma: Stahlgießerei Ofen: 2 GE ρ 6,5 $\Omega \mu m$ max. 13,9 max. Belastung

Stufe 7 240,0 V Nennstrom 8,42 kA GE \emptyset 254 mm Ik \leq 24 Bruchgefahr

244,0 V Nennleistung 3,50 MVA U1nenn kV 30,00

Netz Dros- Trans- Hochstromleitung U1 Aus kV 30,50

sel form. Meßpunkt Elektr.Regelung Trafo Gesamt Koeffiz.

Zprim Ω 4,9 72,0 El. 1 El. 2 El. 3 \emptyset Dr+T+Of. für Xdy. A: 0,043

Alle Widerstände bezogen auf die Hochstromseite. B: 0,005 Richtwerte!

Rk m Ω 0,020 0,129 0,603 0,700 0,849 D: 1,30 Keine Garantiewerte!

Xk m Ω 0,314 4,608 1,146 1,862 2,156 7,910

Zk m Ω 0,314 4,608 1,153 1,957 2,267 7,955

Bemerkung: Einschmelzen (Niederschmelzen)

Schlacke t: 0,00 Schlackenhöhe mm: 0 Distanz Lichtbogen-Wand m 0,778 Ener- t GE- Verbrauch

Badfläche Schlackenzone m m 2 4,95 UA-K 30 V gie 8,0 % 70 KL Wirkungsgrad g/ kg GE K

lprim cos ϕ U1 U20m Zop.m Xop. Isek S P Parc RI larc Rarc kWh tein kWh l/in elektr. el.-th. /t kWh /tliq. Xop/Xk

A Dross kV V m Ω m Ω kA MVA MW MW MWV/m 2 mm m Ω /min min /t kWh /tliq. Xop/Xk

59,3 0,841 30,00 117,0 15,79 10,19 7,41 3,10 2,61 2,47 151 81 15,00 44 48 263,6 0,88 0,946 0,847 5,3 1,403 1,29

62,4 0,831 29,97 115,4 14,79 9,95 7,80 3,27 2,71 2,56 154 79 14,00 45 47 263,9 0,93 0,943 0,847 5,5 1,451 1,26

67,3 0,813 29,93 112,8 13,41 9,63 8,42 3,52 2,86 2,68 157 76 12,61 48 44 264,7 1,00 0,937 0,846 5,8 1,532 1,22

69,7 0,804 29,91 111,5 12,80 9,50 8,71 3,64 2,93 2,73 157 75 12,00 49 44 265,2 1,03 0,934 0,845 5,9 1,575 1,20

71,7 0,796 29,89 110,3 12,30 9,40 8,97 3,74 2,98 2,77 158 73 11,50 50 43 265,7 1,06 0,931 0,844 6,1 1,614 1,19

73,9 0,787 29,87 109,0 11,81 9,30 9,23 3,85 3,03 2,81 157 72 11,00 51 42 266,3 1,10 0,928 0,843 6,2 1,656 1,18

76,1 0,777 29,85 107,6 11,31 9,20 9,51 3,97 3,08 2,85 157 70 10,50 51 42 267,0 1,13 0,925 0,841 6,4 1,704 1,16

78,4 0,766 29,83 106,1 10,82 9,11 9,80 4,08 3,13 2,88 156 68 10,00 52 41 267,8 1,16 0,922 0,839 6,6 1,757 1,15

80,9 0,754 29,81 104,4 10,32 9,02 10,11 4,21 3,17 2,91 154 66 9,50 53 41 268,7 1,20 0,918 0,836 6,8 1,816 1,14

136 0,107 29,34 33,4 1,96 7,910 17,04 6,9 0,74 0,00 0 0 0,00 12 2,02 0 1,00

Ik/Inenn: 2,02

Drossel: 0,98 MVA

Bild 5: Wertetabelle Ofenkennlinien Einschmelzen, 6-/8-t-DS-Lichtbogenofen, 3,5 MVA, max. 240 V.

GRAFIK: KUHLOW PETER ELEKTROWÄRME

Dimensionierungen von Anlagenteilen. Außerdem können speziell für die Kundenbedingungen Berechnungen zu energetisch-elektrothermischen Einflüssen erstellt werden.

In bereits durchgeführten Projekten erfolgten im Vorfeld theoretische Berechnungen z. B. zur Betrachtung kürzerer Einschmelzzeiten. In den nachfolgenden Messungen konnten die Ergebnisse bestätigt werden.

Aus den Berechnungswerten der Kennlinien werden Einschmelzprogramme als Vorgabe einer Programmsteuerung oder Fahrweise per Hand erstellt. In Abhängigkeit von Tonnage und Schrottverhältnissen werden pro Transformatorstufe mit einer berechneten Zeit

zum Energieverbrauch die Programmschritte festgelegt. Damit ist bis zur Probenahme (bei Temperaturen um etwa 1530 °C) die Einschmelzzeit rechnerisch ermittelt und kann als Orientierung für den Ofenbetrieb und als Planungsgrundlage verwendet werden.

Weitere Einflussfaktoren zu längeren Schmelzzeiten oder höheren Energieverbräuchen sind zusätzlich festgestellt worden:

- > Beschickung Schrottkörbe - zu hohe Schrottdichte, sperriger Schrott,
- > schlechte Kontaktierung durch unsauberen Schrott,
- > überwiegend Schmelzen mit kaltem Ofen, ungenügende Auslastung,

- > Vernachlässigung der Wartungsmaßnahmen (Flüssigkeitsverluste Hydraulik, mangelhafte Entlüftung Hydrauliksystem, defekte Ventile ohne Nullstellung, lose Verbindungen der Hochstromleitung, defekte Hochstromkabel, verschlissene Elektrodenarmführung usw.),
- > ungenügende Reinigung und Instandhaltung von Klemmbacken (alle 14 Tage empfohlen),
- > Deformation, Beschädigung mechanischer Bauteile,
- > unzureichend arbeitende Regelung und
- > Fehler an elektrischen Baugruppen.

Bei älteren Anlagen mit analogen Bau-
gruppen bzw. Regelungen zeigt die Vergan-
genheit, dass eine jährliche Überprüfung
bessere Verbrauchszahlen liefern kann
und das Ausfallverhalten verringert.

Entscheidende Verbesserungen von
Einflussfaktoren der Anlagen bedeuten
auch, nach langen Laufzeiten eine Moder-
nisierung entsprechend des Standes der
Technik anzustreben. Technische Ausrüs-
tungen für Lichtbogenofenanlagen wurden
ständig weiterentwickelt. Spezielle digita-
le Regelungssysteme, Visualisierungen,
Darstellungen von Anlagenzuständen,
Ventiltechniken und Steuerungssysteme
gewährleisten eine hohe Betriebs sicher-
heit mit optimaler Überwachung. Damit
werden die Bedienung der Anlagen er-
leichtert, Fehlerursachen schneller er-
kannt, Stillstände verkürzt und zusätzliche
Sicherheiten im Umgang mit den Anlagen
geboten. Durch Netzwerke und spezielle
Softwarelösungen zur Auswertung erfolgt
eine zentrale Überwachung zu Ver-
brauchszahlen und Zeiten. Damit kann
zeitnah in den Prozess eingegriffen wer-
den. Diese Leistungen werden im Partner-
verbund Elektro-Industriemontagen GmbH
Riesa als Gesamtmodernisierung „Mecha-
nik, Hydraulik und Elektro-Steuerungs-
und Regelungstechnik“ angeboten.

Die bereits bearbeiteten Projekte wa-
ren immer wieder herausfordernde, ein-
zelne Sondervarianten, da kundenspezi-
fische Lösungen gefunden werden muss-
ten. Das entwickelte Konzept der
Gesamtmaßnahme hat sich dabei be-
währt, Verbesserungen an den Anlagen
zu erkennen und dem Kunden in der Aus-
wertung beim Dauerbetrieb zu belegen.
Nach schriftlichem Bestelleingang zur
Beauftragung läuft ein konzeptionelles
Prozedere ab:

- > Berechnung der Kennlinien interessie-
render Transformatorstufen, eventu-
elle Optimierungen,
- > chargenbegleitende Messung mit Ist-
Zustandsaufnahme,
- > Auswertung, Erstellung Fahrweisen,
Programme, Anpassung der Kennlini-
en an veränderte Werte,
- > technische Begleitung während der
Baumaßnahmen,
- > technische Begleitung zur Inbetrieb-
nahme, Kaltfunktionstests,
- > chargenbegleitende Messungen nach
Inbetriebnahme, Kontrolle der Kenn-
linienwerte, Optimierung, Anpassung
der Regelung mit Inbetriebnehmer vor
Ort und
- > Auswertung, Gegenüberstellung der
Werte und Verbesserungen als Ab-
schlussbericht.

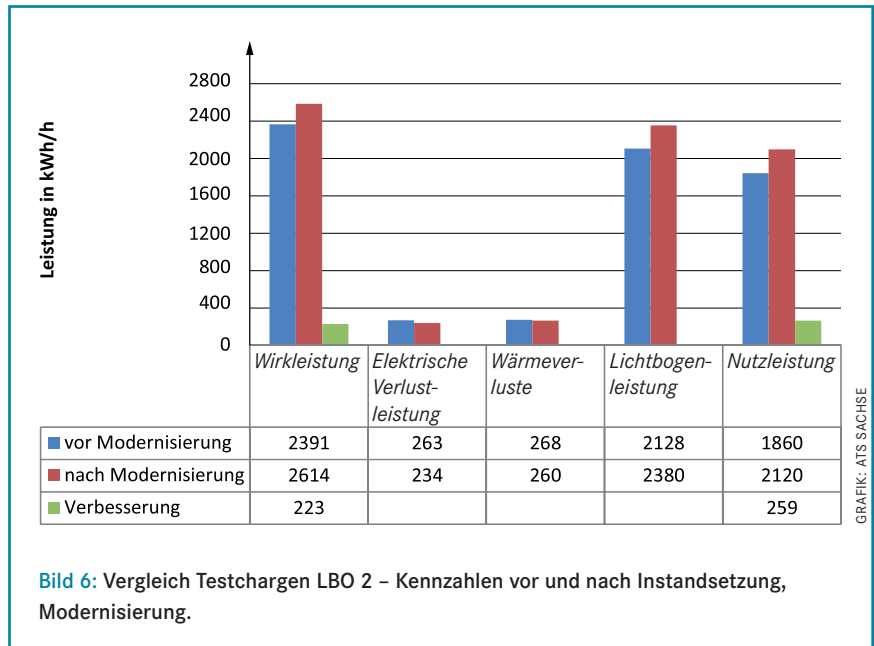


Bild 6: Vergleich Testchargen LBO 2 – Kennzahlen vor und nach Instandsetzung, Modernisierung.

Eine Gesamtumbaumaßnahme wurde mit
einer Vorbereitungszeit von 3 Monaten
beim Kunden innerhalb von 6 Wochen
realisiert. Damit war der Produktionsstill-
stand der Anlage kalkulierbar. Die Ver-
besserungen, welche u. a. durch das digi-
tale Regelungssystem erreicht wurden,
zeigt **Bild 6** (weitere Angaben in [8],
S. 62). Dieses Konzept kann auch bei be-
reits modernisierten Anlagen angewandt
werden.

Fazit

Erreichbar sind diese durchaus wettbe-
werbsfähigen Ergebnisse durch:

- > Optimierungen der Anlagentechnik,
- > ein Ausrichten der Instandhaltung auf
die Gewährleistung der anlagentechni-
schen Erfordernisse,
- > weitere Optimierungen der technolo-
gischen und metallurgischen Abläufe,
um die temperatur- und zeitabhängigen
Wärmeverluste zu verringern und
- > weiteres Erhöhen der zeitlichen und
kapazitiven Ofenauslastung, um die
anteiligen Speicherwärmeverluste zu
verringern.

Diesem Bestreben stehen nicht selten die
mangelnden Kundenaufträge gegenüber,
wobei sich auch der Wettbewerb zuneh-
mend verschärft. Unter diesem Aspekt
kommt der Modernisierung veralteter
Ofenanlagen eine besondere Bedeutung
zu, weil moderne und leistungsfähige
neue DS-Lichtbogenöfen hohe Investiti-
onen erfordern [8, 10].

Auf der Basis jahrzehntelanger Erfahrun-
gen wurden für die Optimierung und

zweckmäßige Einstellung der Lichtbogen-
öfen Wertetabellen zur Ofencharakteristik
ermittelt. Durch die Berücksichtigung vie-
ler Einflussfaktoren für das Einschmelzen
und Fertigmachen (Aufheizen) für ent-
sprechende Spannungsstufen können
mittels Messungen im Rahmen von Ser-
viceleistungen bei Inbetriebnahmen, nach
Modernisierung oder Überprüfungen in
kurzer Zeit effektive Einstellungen vorge-
nommen werden [1, 8-10].

*Dipl.-Ing. Peter Kuhlow, Berater Elek-
trowärme, Parchim, Gunther Sachse, ATS
Sachse GmbH, Leipzig*

Literatur:

- [1] ewi – elektrowärme international
(2004), [Nr. 4], S. 171-176.
- [2] ewi – elektrowärme international
(2005), [Nr. 2], S. 74-79.
- [3] ewi – elektrowärme international
(2003), [Nr. 3], S. 117-124.
- [4] Heinen, K.-H.: *Elektrostahlerzeugung*.
Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf,
1997.
- [5] ewi – elektrowärme international
(2015), [Nr. 4], S. 43-49.
- [6] ewi – elektrowärme international
(2010), [Nr. 2], S. 115-122.
- [7] Sommer, F.; Pollack, H.: *Elektrostahl-
erzeugung*. Verlag Stahleisen, Düsseldorf,
1950.
- [8] ewi – elektrowärme international
(2012), [Nr. 4], S. 57-64.
- [9] *Giesserei 100* (2013), [Nr. 6], S. 40-46.
- [10] ewi – elektrowärme international
(2015), [Nr. 4], S. 57-62.