

# Einfluss der Betriebs- und Fahrweise auf den Energieverbrauch beim induktiven Schmelzen von Gusseisen

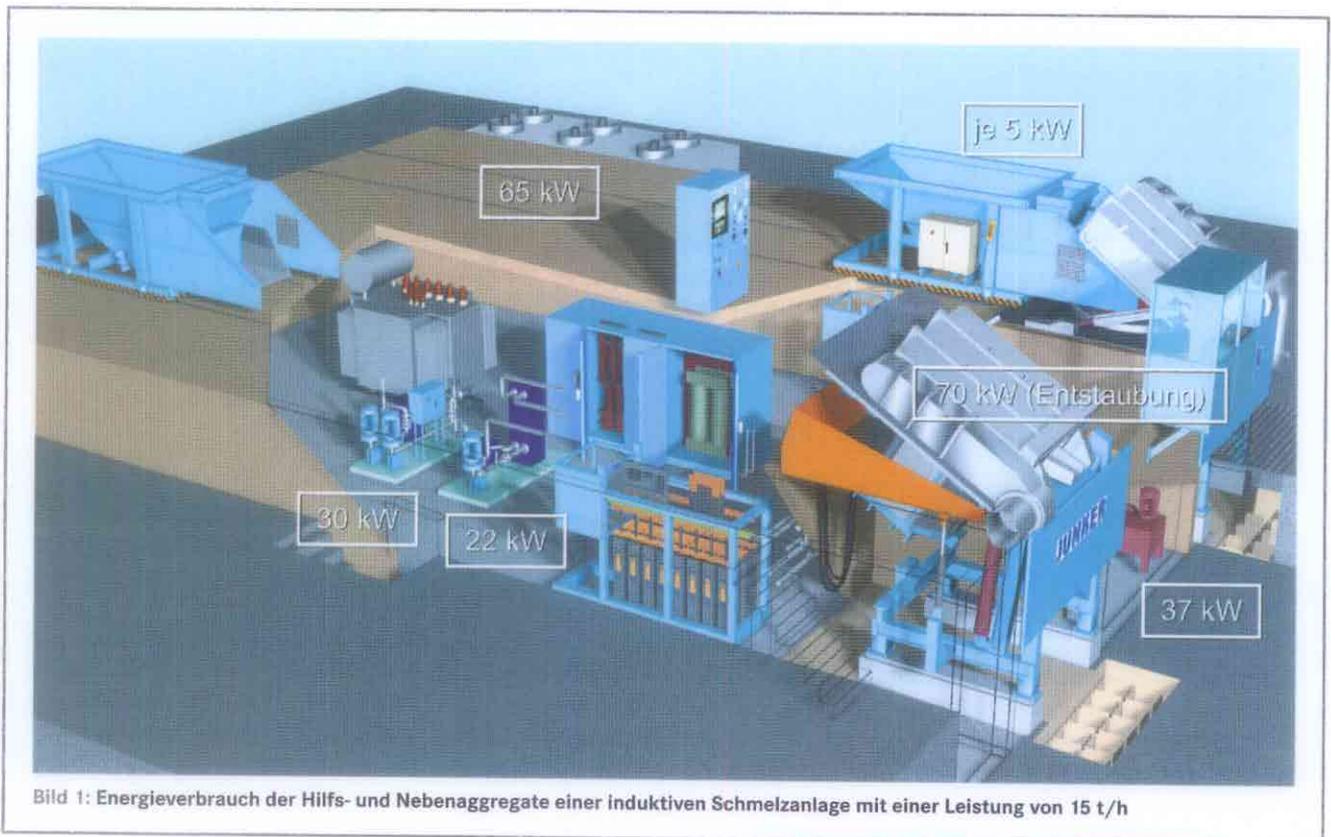


Bild 1: Energieverbrauch der Hilfs- und Nebenaggregate einer induktiven Schmelzanlage mit einer Leistung von 15 t/h

VON DIETMAR TRAUZEDDEL,  
SIMMERATH-LAMMERSDORF

Die optimierte Mittelfrequenz-Anlagentechnik garantiert ein Minimum an thermischen und elektrischen Verlusten und durch die exakte Erfassung des Chargiergewichtes, die Berechnung und Zufuhr der erforderlichen Energiemenge mit Hilfe des Schmelzprozessors und die exakte rechnergesteuerte Fahrweise, wurden sehr gute Bedingungen für das energiesparende Schmelzen geschaffen.

Die richtige Fahr- und Betriebsweise der Ofenanlagen, das sichere und zuverlässige Betreiben der Anlagen und die optimale Anlagengestaltung ermöglichen erst die volle Nutzung der Vorteile dieser Technik.

Damit kann ein Gesamtwirkungsgrad der Ofenanlage von über 75 % erreicht werden: so beträgt der Energieverbrauch zum Schmelzen von Gusseisen bis auf eine Temperatur von 1500 °C nur 490 bis 520 kWh/t bei einem Enthalpiewert von 390 kWh/t (Tabelle 1).

Allerdings zeigt es sich, dass in den Gießereien der durchschnittliche Energieverbrauch zum Schmelzen von Gusseisen wesentlich höher liegt. So wird aus den englischen Gießereien von einem Durchschnittswert von 718 kWh/t [1] berichtet und die statische Auswertung in Frankreich hat einen noch höheren Wert von 855 kWh/t [2] ergeben.

Hier eröffnet sich ein großes Einsparpotential: Durch den Einsatz moderner Mittelfrequenzschmelzanlagen aber auch

durch die Veränderung der Fahr- und Betriebsweise kann eine deutliche Senkung des Energieverbrauches erreicht werden. Bis zu 20 % Energie können eingespart werden, wenn die Fahr- und Betriebsweise bestehender Ofenanlagen verbessert wird. Gerade in Zeiten steigender Energiepreise ergibt sich daraus eine wichtige Möglichkeit zur Kostendämpfung.

## Einfluss der Fahr- und Betriebsweise

Bevor näher auf den Energieverbrauch zum Schmelzen eingegangen wird, soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Hilfs- und Nebenaggregate in einem Induktionsofenschmelzbetrieb wie

- > Trockenentstaubungsanlage,
- > Wasserrückkühlanlage mit Luftkühler oder Kühlturm,

> Hydraulik- und Pumpenaggregate und  
> Chargiereinrichtung  
auch Energie verbrauchen, im Vergleich zu dem Energiebedarf für das Schmelzen allerdings recht wenig.

So liegt die Summe für eine leistungsstarke Anlage mit einem Durchsatz von über 15 t/h bei weniger als 10 kWh/t (Bild 1) also bei ca. 2 % des Energieverbrauches zum Schmelzen.

**Einsatzstoffe und Chargieren.** Die genaue Berechnung der erforderlichen Chargenzusammensetzung auf Basis der Analysenwerte der Einsatzstoffe, das genaue Wiegen und Dosieren der Einsatzmaterialien und Legierungszuschläge, einschließlich der Korrekturen zwischen Soll- und Ist-Gewicht, sind Grundvoraussetzungen für das Vermeiden von zusätzlichen Aufwendungen an Zeit und Energie im Schmelzbetrieb.

Das Chargieren von sauberem und trockenem Einsatzmaterial zahlt sich aus, da zum Beispiel für das Verschlacken von Sand, der an nicht gestrahltem Kreislaufmaterial haftet, genau soviel spezifische Energie benötigt wird wie für das Schmelzen von Eisen, d. h. ca. 500 kWh/t. Bei einer realistischen Menge von 25 kg Sand pro Tonne Eisen sind das immerhin 12,5 kWh/t. Zum anderen wird natürlich die Schlackenmenge erhöht. Noch gravierender ist der Einfluss von verrostetem Einsatzmaterial, da die sehr schlechte Ankopplung zu einer geringen Leistungsaufnahme führt und die Zeit für das Schmelzen deutlich verlängert wird. In vergleichenden Versuchen [1] wurden der Energieverbrauch und die Chargenzeiten für das Schmelzen von sauberem und stark verrostetem Stahlschrott ermittelt: Der verrostete Stahlschrott erforderte die 2 bis 3fache Zeit zum Schmelzen und einen 40 bis 60 % höheren Energieaufwand, wie die Ergebnisse in der Tabelle 2 zeigen.

Selbst wenn davon ausgegangen wird, dass diese Werte einen Extremfall darstellen, ist der ungünstige Einfluss von verrostetem Einsatzmaterial erheblich. Hinzu kommen der höhere Abbrand und die größere Schlackenmenge, so dass der Einsatz von verrostetem Material möglichst vermieden werden sollte.

Die Packungsdichte des Chargiergutes bestimmt nicht unwesentlich die Größenordnung der elektromagnetischen Ankopplung und damit die elektrische Leistungsaufnahme des Einsatzmaterials. Daraus ergeben sich, in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme, unterschiedliche

Chargenzeiten und in der Folge abweichende Energieverbrauchswerte.

An Hand von Chargen mit unterschiedlicher Packungsdichte wurde dieser Zusammenhang an einer leistungsstarken Mittelfrequenzschmelzanlage unter Produktionsbedingungen untersucht. Die Tests wurden an einer Schmelzanlage mit einem Fassungsvermögen von 10 t und einer Nennleistung von 8000 kW bei 250 Hz durchgeführt.

Der leere Ofen wurde mit der festgelegten Chargenzusammensetzung aus Roheisen, Gussbruch, Kreislaufmaterial, Stahlschrott und Zuschlagstoffen einmal gefüllt. Dann wurde ohne Nachchargieren bis auf

**Tabelle 1: Energiebedarf, elektrische und thermische Verluste beim induktiven Schmelzen von Gusseisen**

**Beispiel: Mittelfrequenztiegelofen 8000 kg/8000 kw/250 Hz  
Gusseisen: 1500 °C**

		kWh/t
<b>Energiebedarf</b>		<b>390</b>
Energieverluste	Trafo	7
	Umrichter	18
	Zuleitungen (Kabel/Schienen)	9
	Spule	77
	Joche	4
	Wärmeverluste	11
Summe der Verluste		126
<b>Energieverbrauch</b>		<b>516</b>
<b>Gesamtwirkungsgrad</b>		<b>75,5 %</b>

**Tabelle 2: Einfluss der Schrottqualität auf den Stromverbrauch bei 1500 °C**

Quelle [1]

Einsatzmaterial	Gewicht in kg	Zeit in min	min/kg	Energie in kWh	Verbrauch in kWh/t	Zeitvergleich in %	Energievergleich in %
<b>Sauberer Stahlschrott</b>	250	75	0,3	210	840	100	100
<b>Rostiger Stahlschrott</b>	200	185	0,93	270	1350	310	160
<b>Rostiger Stahlschrott</b>	275	192	0,7	335	1218	233	145

1380 °C aufgeschmolzen und der Energieverbrauch ermittelt.

Durch unterschiedliche Abmessungen des Kreislaufmaterials und des Stahlschrottes ergaben sich Packungsdichten im Bereich von 2 bis 2,7 t/m<sup>3</sup>. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer Abnahme der Packungsdichte von 2,5 t/m<sup>3</sup> auf 2,0 t/m<sup>3</sup> der Energieverbrauch um ca. 25 kWh zunimmt (Bild 2).

Aus diesem Grund ist es trotz der zusätzlichen Aufwendungen im Einzelfall ratsam, sperriges Kreislaufmaterial zu zerkleinern, um eine höhere Packungsdichte zu erreichen. Gleichzeitig wird damit das Chargieren erleichtert und die Gefahr der Brückenbildung im Ofen reduziert.

Das durch diese Maßnahme in der Praxis Geld eingespart werden kann, obwohl das Brechen des Kreislaufmaterials natürlich auch Kosten verursacht, zeigt das Beispiel einer amerikanischen Gießerei [3].

Gleichzeitig ist im Sinne der Zeit- und Energieeinsparung Wert auf eine schnelle und kontinuierliche Chargierung des Einsatzmaterials zu legen. Dabei ist ständig ein hoher Füllgrad anzustreben. Durch den Einsatz von verfahrenbaren Vibrationsrinnen, mit einem, die gesamte Charge aufnehmendem Bunker, werden dafür die

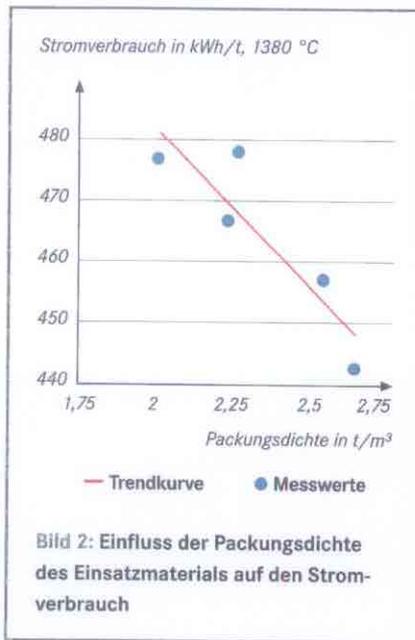


Bild 2: Einfluss der Packungsdichte des Einsatzmaterials auf den Stromverbrauch

Voraussetzungen geschaffen. Der Einsatz einer dicht an die Rinne andockenden Absaughaube minimiert die Strahlungsverluste bei gleichzeitiger guter Erfassung der Ofengase.

**Schmelzen von Spänen.** Mit der Erhöhung der Fertigungstiefe in den Gießereien

und damit einer Zunahme der zerspanenden Bearbeitung der Gussteile fallen immer häufiger größere Mengen Späne an, die möglichst im eigenen Schmelzbetrieb einzusetzen sind. Im Vergleich zu anderen Schmelzverfahren eignet sich der Induktionstiegelofen sehr gut zum Einschmelzen von Bearbeitungsspänen. Da Teile aus Gusseisen mit Lamellengraphit im Allgemeinen ohne den Einsatz von Kühlschmiermitteln zerspan werden, sind die Späne trocken und sauber und können ohne weitere Vorbehandlung eingeschmolzen werden.

Die Späne weisen, bedingt durch ihre geringe Berührungsfläche und die oberflächliche Oxidation, trotz der guten Packungsdichte untereinander nur einen schlechten elektrischen Kontakt auf. Daher sollte beim Schmelzen von Spänen immer mit einem Sumpf (größer 40 %) gearbeitet werden.

Bei der Fahrweise ohne Sumpf ist mit einem zusätzlichen Energiebedarf von 50 kWh/t für das Einschmelzen der Späne gegenüber stückigem Material zu rechnen; gleichzeitig steigt die Schmelzzeit.

Das Chargieren der Späne auf den Sumpf kann entweder kontinuierlich erfolgen („einrieseln“) oder der Ofen wird bis zur Höhe der aktiven Spule mit Spänen ge-

**Kernsandmischer**  
von 2 bis 6 t/h **Weltweit**



**Gasgeneratoren**  
1/2 bis 2" für alle Verfahren **Die bessere Lösung**



**Kernschliessmaschinen**  
von 3 bis 250 Liter Schussvolumen **Core Power**





**AHB-Giessereitechnik GmbH**  
D-79585 Steinen; Bahnhofstr.20  
Tel: 0049-7627-924908 Fax: 924909  
E-mail: AHB.Germany@t-online.de  
Http://www.ahb-germany.com



**Kontakt und Vertrieb: GIESSEREIAUTOMATION Brandes GmbH**  
Postfach 1453 ; 76587 Gernsbach  
Telefon: 0049 7224 990602 Telefax: 0049 7224 990603  
Mobil: 0049 1714010288  
E-Mail: info@h-brandes.de  
Http://www.h-brandes.de

füllt. Das vollständige Füllen des Ofens – ohne den Ofen zu „überschütten“ – spart 2 bis 3 % Energie und senkt den Abbrand. Allerdings besteht dabei die Gefahr der Brückenbildung im Einsatzmaterial.

Besteht die Gattierung anteilig aus Spänen, so ist das kompakte Material am Anfang zu chargieren und aufzuschmelzen. Dann werden auf den gebildeten Sumpf die Späne gesetzt.

**Aufkohlen.** Auch die Art und Weise der Zugabe von Aufkohlungsmittel beeinflusst den Verbrauch an Energie, wie berichtet wird [4, 5]. So ergibt sich ein deutlicher Mehrverbrauch, wenn das Aufkohlungsmittel nicht am Anfang des Schmelzvorganges zusammen mit den metallischen Einsatzstoffen eingesetzt wird, sondern erst nach dem Aufschmelzen in das flüssige Bad eingebracht wird. Die eigenen praktischen Erfahrungen gehen davon aus, dass im letzteren Fall ca. 1 bis 2 kWh/kg Kohlungsmittel zusätzlich erforderlich sind. Bei einem realistischen Wert von 2 % Aufkohlungsmittel sind also max. 40 kWh/t Eisen an Mehrverbrauch zu erwarten. Die in einigen Veröffentlichungen genannte durchschnittliche Größenordnung von 70 kWh/t Eisen für das Aufkohlen ist nicht plausibel.

Wird das Aufkohlungsmittel zusammen mit dem übrigen Einsatzgut chargiert, so sollte dies dosiert über die Charge geschehen, damit der Kohlenstoffgehalt der sich bildenden Schmelze nicht unnötig ansteigt. In einem solchen Fall wäre ein erhöhter Tiegelverschleiß die Folge. Ebenfalls sollte die Verwendung zu feinkörniger minderwertiger Aufkohlungsmittel, die dazu neigen, an der Tiegelwand zu kleben, vermieden werden. In solchen Fällen ist ansonsten mit lokalen Auswaschungen zu rechnen.

Ferner ist zu beachten, dass die Zugabe von Siliciumträgern möglichst nach dem Aufkohlen vorzunehmen ist, da mit zunehmendem Siliciumgehalt im Eisen die Kohlenstofflöslichkeit abnimmt und außerdem ein höherer Abbrand an Silicium auftritt.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass sich die Enthalpiewerte von Kreislaufmaterial und synthetischem Gusseisen deutlich unterscheiden. Beim Schmelzen von synthetischem Gusseisen (Stahlschrott, Aufkohlungsmittel, Siliciumträger) ist im Vergleich zum Schmelzen von homogenem Kreislaufmaterial mit einem Mehrverbrauch von 8 bis 15 % zu rechnen [6].

**Fahrweise der Schmelzanlage.** Laut den theoretischen Überlegungen ist die Ofenfahrweise mit maximal verfügbarer elektrischer Leistung und damit hoher Leistungsdichte energetisch am günstigsten.

Der Gesamtwirkungsgrad einer Schmelzanlage ist, wie die Gleichung

$$\eta_{\text{ges.}} = \eta_{\text{elektrisch}} \left(1 - \frac{\text{Warmhaltewert}}{\text{Nennleistung}}\right)$$

zeigt, auch entscheidend vom Verhältnis von Warmhaltewert zu Nennleistung abhängig. So sinkt der Stromverbrauch mit steigender Nennleistung bei der gleichen Ofengröße.

Durchgeführte systematische Versuche bestätigen dies auch eindeutig: die Chargenzeit wird verkürzt, die thermischen Verluste sinken und in der Folge wird der Stromverbrauch reduziert.

An Hand des berechneten Leistungsdiagramms eines 12-t-Ofens (Bild 3) zeigt es sich, dass mit abnehmender Leistungsdichte, der Stromverbrauch exponentiell ansteigt, da bei einer sehr niedrigen Leistungsdichte der Anteil der Energie zum Abdecken der statischen thermischen Verluste überproportional hoch ist.

**Wir nehmen jede Herausforderung an!**

weiter wie bisher... Herausfordern!

**Sescoi**  
Wir machen das Programm.  
Sescoi GmbH  
D-63263 Neu-Isenburg  
Tel.: 06102 7144-0  
Fax: 06102 7144-56  
info@sescoi.de  
www.sescoi.de

**WorkNC®**  
**SCHNELL.  
SICHER.  
KOLLISIONSFREI.  
KOMPETENT.**  
www.worknc.de

+++ WorkNC - das CAM/CAD-System für 2 - 5 Achsen +++ Vereinbaren Sie einen Live-Vorführungstermin in Ihrem Haus! +++

Der Vergleich zwischen dem Schmelzen mit 6000 kW oder 3000 kW zeigt (Bild 3) immerhin eine Differenz im Stromverbrauch von 20 kWh/t. Dieser energetische Vorteil kann beim Wechsel von Netzfrequenz- auf Mittelfrequenzanlagen genutzt werden, da die maximale Leistungseinspeisung bei Netzfrequenzanlagen dieser Ofengröße bei 3000 kW liegt.

Der Einsatz der Mittelfrequenztechnik ermöglicht das Schmelzen ohne Sumpf und das Einschmelzen von kleinstückigem Material. Aufgrund der besseren elektromagnetischen Ankopplung des festen Einsatzmaterials (gilt nur für Guss-

eisenwerkstoffe) werden im reinen Chargenbetrieb 8 % weniger Energie benötigt, da bis zum Curiepunkt ein wesentlich höherer Spulenwirkungsgrad erreicht wird (Bild 4). Dieser Vorteil kann bei der Mittelfrequenztechnik genutzt werden, da bei den Netzfrequenzanlagen nur mit einem Sumpf angefahren werden kann,

Wenn von der Netzfrequenz- auf die Mittelfrequenztechnik gewechselt wird, ergeben die höhere mögliche Leistungsdichte und der bessere Spulenwirkungsgrad im Chargenbetrieb in der Summe eine Energieeinsparung von 12 bis 15 %.

Die Speicherwärme eines Tiegelofens,

d. h. die erforderliche Energie, um den kalten Ofen in den voll wärmegezeichneten Zustand aufzuheizen, ist in der Regel um den Faktor 3 bis 5 größer als der Energieaufwand für das Warmhalten über einen vergleichbaren Zeitraum. So beträgt die Speicherwärme bei einem 8-t-Ofen 800 kWh, d. h. für das Schmelzen einer Charge in einem kalten Ofen werden 100 kWh/t mehr Energie benötigt als zum Schmelzen in einem voll wärmegezeichneten Ofen (Bild 5).

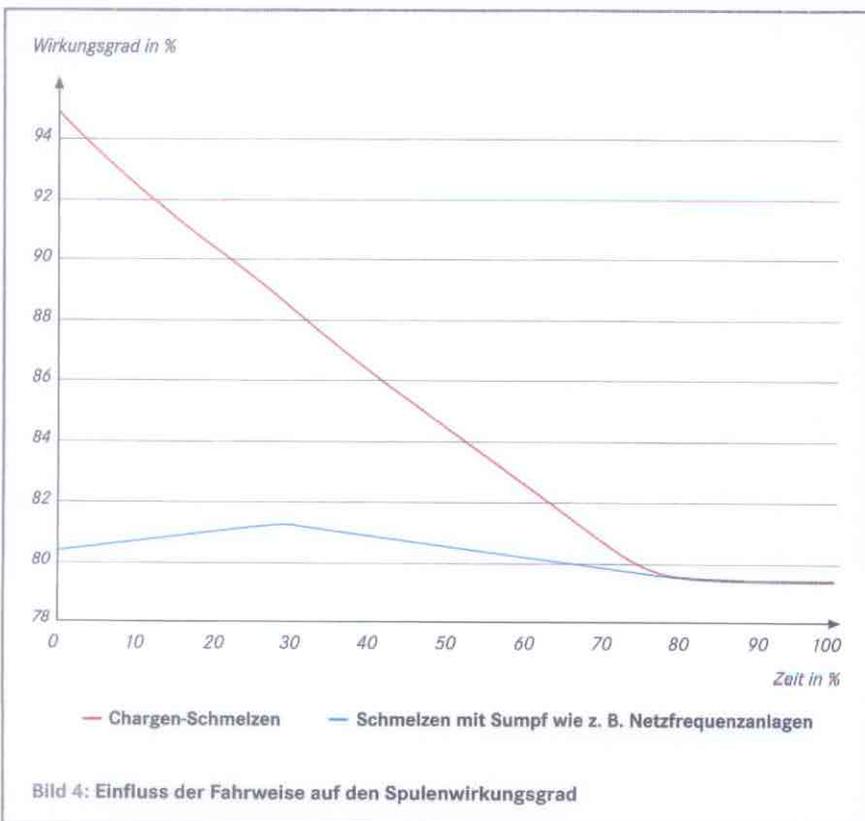
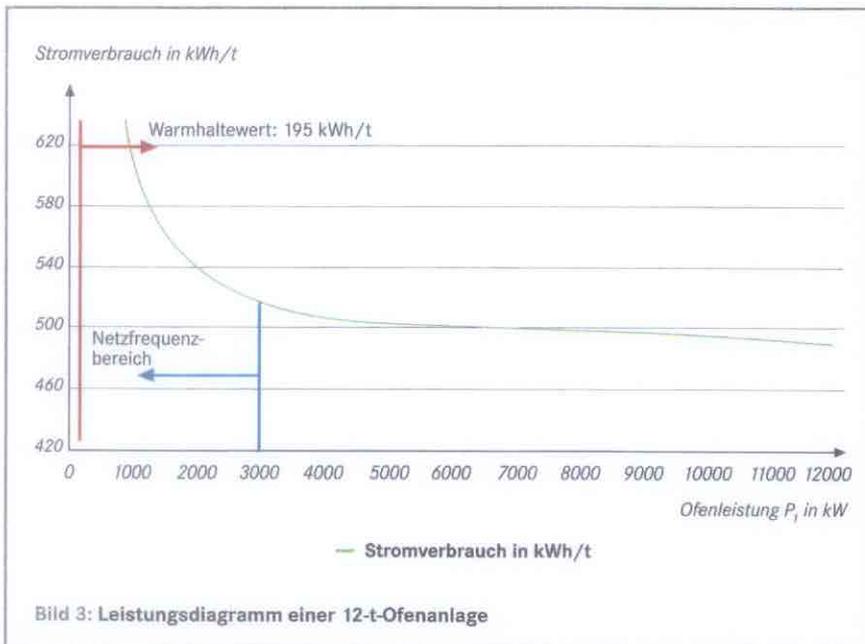
Da für das Warmhalten der Schmelze pro Stunde nur 25 kWh/t erforderlich sind, also nur ein Viertel davon, macht es Sinn, bei Unterbrechungen und Pausen kleiner 4 h, den Ofen mit einem Sumpf an flüssigem Metall warm zu halten und nicht abkühlen zu lassen. Außerdem ist zu bedenken, dass es in jedem Fall für die Standzeit der feuerfesten Zustellung des Ofens am günstigsten ist, wenn der Ofen ständig auf Betriebstemperatur gehalten wird oder zumindest nicht laufend abkühlt und wieder aufgeheizt wird. Negative Auswirkungen längerer Warmhalteperioden auf die metallurgische Qualität sind dank der modernen Behandlungs- und Impftechnologien in der Regel nicht mehr zu verzeichnen.

Energie wird verschwendet, wenn der Ofen länger als erforderlich mit offenem Deckel betrieben wird. Der geringe thermische Verlust von z. B. nur 140 kW bei einem 8-t-Ofen steigt dann auf 400 kW an, somit werden pro Minute Öffnungszeit 4 kWh zusätzlich verbraucht. Bei 20 min ergibt dies immerhin 80 kWh pro Charge, entsprechend 10 kWh/t Mehrverbrauch.

Unnötig Energie wird aus dem Ofen „abgesaugt“, wenn die Absauganlage immer mit voller Leistung und ungedrosselt arbeitet, auch dann, wenn keine Rauchgase abzuführen sind oder nur eine geringe Menge anfällt. Der Mehrverbrauch kann in ungünstigen Fällen in einer Größenordnung von 3 % liegen. Dies entspricht 15 kWh/t Eisen.

Der nächste Punkt betrifft das Überhitzen des Eisens, da für eine Temperaturerhöhung von 50 K immerhin ca. 20 kWh/t erforderlich sind. Bei Einsatz des Schmelzprozessors JOKS kann die Endtemperatur bis auf 5 K genau eingehalten und damit eine unnötige Überhitzung vermieden werden.

**Zustellung.** Die Wanddicke der keramischen Zustellung des Ofens – beim Schmelzen von Gusseisen kommen fast ausschließlich Quarzmassen zum Einsatz – stellt immer einen Kompromiss zwischen einer guten thermischen Isolierung sowie einem ausreichenden mechanischen Schutz der Spule und einer guten elektromagnetischen Kopplung zwischen Spule und Schmelzgut dar.



Mit abnehmender Zustelldicke verbessert sich der Spulenwirkungsgrad, die Leistungsaufnahme steigt an, aber gleichzeitig nehmen die thermischen Verluste durch die dünnere Tiegelwand zu. Allerdings sind die Spulenverluste fast eine Zehnerpotenz höher als die thermischen Verluste der Tiegelwand, so dass der Einfluss der Spulenverluste hier dominiert.

In den Untersuchungen [1] wurde bei abnehmender Zustelldicke eine deutliche Reduzierung des Stromverbrauches festgestellt (Tabelle 3).

Mit zunehmender Betriebszeit und damit zunehmender Auswaschung der Zustellung sinkt der Stromverbrauch nach 3 Wochen um fast 10 %. Geht man von der Annahme aus, dass bei einer Ausgangswanddicke der Zustellung von 125 mm in den drei Woche die Zustellung um 30 mm dünner geworden ist, ergibt sich nach den Berechnungen nur eine Verbesserung des Spulenwirkungsgrades um 3 % (Bild 6).

Diese Größenordnung erklärt nicht die in Tabelle 3 aufgeführte Senkung des Stromverbrauches. Vermutlich sind die höhere Leistungsaufnahme und die daraus resultierende kürzere Schmelzzeit weitere Faktoren für die Einsparung.

Daraus leitet sich die Überlegung ab, dass zu prüfen ist, ob, in Verbindung mit dem Einsatz eines modernen Tiegelüberwachungssystems, z. B. das „Optical Coil Protection System“ (OCP) [7], nicht auf einen zu hohen „Sicherheitszuschlag“ für die Zustelldicke verzichtet werden kann.

### Weitere Senkung der elektrischen Verluste

Die ständige Weiterentwicklung der Anlagen zum induktiven Schmelzen hat zum einen zu einer beachtlichen Steigerung der Leistungsdichte und der Durchsatzleistung geführt und zum anderen konnten die technologischen Einsatzmöglichkeiten erheblich erweitert werden. Eben-

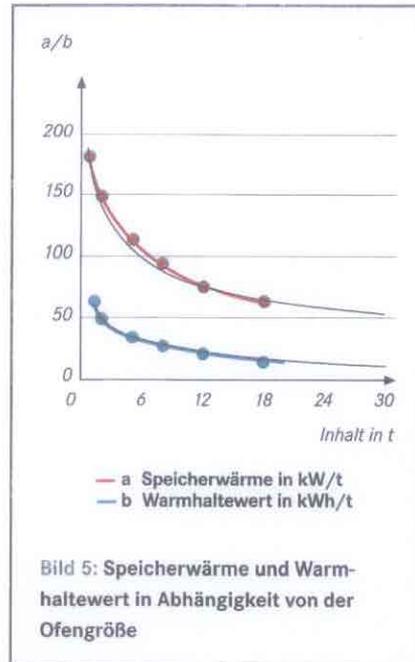


Bild 5: Speicherwärme und Warmhaltewert in Abhängigkeit von der Ofengröße

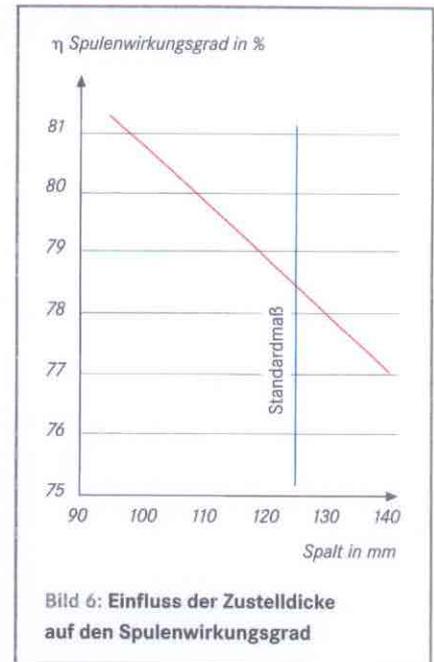


Bild 6: Einfluss der Zustelldicke auf den Spulenwirkungsgrad

so intensiv wurde an der Senkung der thermischen und elektrischen Verluste durch die Optimierung der Ofenkonstruktion und die Verbesserung der Umrichter-technik gearbeitet. Der erreichte Wirkungsgrad von über 75 % beim Schmelzen von Gusseisenwerkstoffen ist das Resultat dieser Anstrengungen und stellt den Stand der Technik dar.

Mit dem neuen Energiesparkonzept von Otto Junker, das in jahrelanger Arbeit entwickelt wurde und in intensiven Versuchen auf Zuverlässigkeit und Praxistauglichkeit getestet wurde, konnte eine weitere Senkung der Verluste erzielt werden.

Das Vorgehen der Fachleute war darauf gerichtet, an dem größten Verlustfaktor – den elektrischen Verlusten in der Induktionsspule – anzusetzen, um eine nennenswerte Senkung zu erreichen. Umfangreiche

Berechnungen und zahlreiche Modellversuche waren erforderlich, um aus den ersten Ideen einen fundierten Lösungsansatz zu erarbeiten: eine spezielle Spulenkonstruktion in Verbindung mit der modernen Umrichtertechnik war das Ergebnis [8].

Das neue System wurde in der eigenen Edelstahlgießerei in einem 1,5-t-Tiegelofen eingebaut und im laufenden Produktionsbetrieb über mehrere Monate auf Herz und Nieren geprüft.

Die erreichte deutliche Energieeinsparung bei gleichzeitiger hoher Zuverlässigkeit und Funktionssicherheit des Systems, belegen, dass das gestellte Ziel erreicht wurde und die Voraussetzungen für die industrielle Anwendung gegeben sind. In Abhängigkeit der jeweiligen Einsatzbedingungen ist von einer Senkung des Energieverbrauches zwischen 5 bis 10 % auszugehen.

Tabelle 3: Stromverbrauch in Abhängigkeit vom Verschleiß der keramischen Zustellung

Quelle [1]

3-t-Induktionstiegelofen; 700 kW/Gusseisen

	Leistungsaufnahme in kW	Stromverbrauch in kWh/t	Energievergleich in %
Neue Zustellung	615	656	100
1 Woche Betriebszeit	650	622	85
3 Wochen Betriebszeit	750	598	91

**Zusammenfassung der Kernaussagen**

Der tatsächliche durchschnittliche Energieverbrauch zum Schmelzen von Gusseisen von über 700 kWh/t bietet bei einem praktisch erreichbaren Wert von 490 bis 520 kWh/t ein großes Einsparpotential. Welche Faktoren zu einem derartig hohen Mehrverbrauch führen, ist beispielhaft in Tabelle 4 dargestellt.

Der Mehrverbrauch an Energie kann durch folgende Maßnahmen eingeschränkt werden:

- > Exakte Temperaturführung im Ofen durch Einsatz des Schmelzprozessors (JOKS).
- > Der Einsatz von rostigem Schrott und nicht gereinigtem Kreislaufmaterial ist zu vermeiden.
- > Die Packungsdichte des Chargiergutes ist zu erhöhen, sperriges Kreislaufmaterial ist zu brechen.
- > Schnelles und kontinuierliches chargieren des Einsatzmaterials mit einer Vibrationsrinne, wobei ein hoher Füllgrad des Ofens anzustreben ist.
- > Das Aufkohlungsmittel ist am Beginn der Charge, zusammen mit dem Einsatzmaterial, unter Beachtung einer metallurgisch sinnvollen Chargierfolge zu setzen; die Zugabe in das flüssige Bad kostet mehr Energie.
- > Beim Schmelzen von Spänen ist mit einem Sumpf größer 40 % zu arbeiten und der Ofen ist bis zur Höhe der aktiven Spule mit Spänen zu füllen.
- > Bei stückigem Einsatzmaterial ist das Anfahren ohne Sumpf, d. h. ein Chargenbetrieb, energetisch günstig.
- > Die Fahrweise mit der maximal verfügbaren Leistung spart Energie.
- > Der Ofendeckel ist, wenn immer möglich, geschlossen zu halten und die Absauganlage ist entsprechend der Emissionsmenge zu regeln.
- > Bei Unterbrechungen und Störungen kleiner 4 h ist der Ofen warmzuhalten, da das Kaltanfahen 3 bis 4mal so viel Energie wie das Warmhalten erfordert.
- > In Verbindung mit dem Einsatz moderner Tiegelüberwachungssysteme, z. B. das „Optical Coil Protection-System (OPC) [7], ist die Dicke der feuerfesten Zustellung zu optimieren und auf unnötige Sicherheitszuschläge zu verzichten.
- > Bei Einsatz des neu entwickelten Energiesparsystems kann eine Senkung des Stromverbrauches zwischen 5 und 10 % erreicht werden.

Dr.- Ing. Dietmar Trauzeddel, Otto Junker GmbH, Simmerath-Lammersdorf  
 Vorgetragen auf dem 15. Ledebur- Kolloquium in Freiberg (27. bis 28. Oktober 2005).

**Literatur:**

[1] *Efficient melting in coreless induction furnaces, Good Practice guide No. 50: ETSU, Harwell, Didcot, Oxfordshire, 2000.*  
 [2] *Fonderei Fondateur d`aujourd`hui, November (2003) Nr. 229, S. 36-39.*  
 [3] *Foundry Management & Technology 131 (2003) Nr. 11, S. 14-16.*  
 [4] *The Foundryman 88 (1995) Nr. 7, S. 246-253.*  
 [5] *Brockmeier, K.-H.: Induktives Schmelzen, Brown, Boveri & Cie, Aktengesellschaft Mannheim, Essen: Giradet-Verlag 1966.*  
 [6] *Trans. American Foundry Soc. 81 (1973) S. 108-109.*  
 [7] *Giesserei 90 (2003) Nr. 8, S. 52-54.*  
 [8] *Otto Junker News, Ausgabe 8, Juli 2005.*

Tabelle 4: Mehrverbrauch an Energie durch ungünstige Betriebs- und Fahrweise der Ofenanlage		
Schmelzen von Gusseisen; 1500 °C MF Ofen 8000 kg/8000 kW/250 Hz		
		kWh/t
Schmelzenthalpie (theoretischer Wert)		390
Anlagentechnik	Thermische und elektrische Verluste	126
<b>Energieverbrauch zum Schmelzen</b>		<b>516</b>
Mehrverbrauch		
Betriebs- und Fahrweise	Sand im Einsatzmaterial 25 kg/t	12,5
	verrostetes Einsatzmaterial	30
	niedrige Packungsdichte statt 2,5 nur 2,0 t/m <sup>3</sup>	25
	Aufkohlen nach dem Einschmelzen 20 kg/t	40
	Schmelzen mit 50 % der Leistungsdichte	20
	Schmelzen mit Sumpf	40
	ungedrosselte Absaugung	15
	Warmhalten über 20 min mit offenem Deckel	10
	unnötiges Überhitzen Überhitzen um 50 K	20
Summe Mehrverbrauch		212,5
<b>Möglicher Gesamtverbrauch</b>		<b>728,5</b>