



**immer einen Schritt voraus**



PETER DRYSCH UND MANFRED NIEMANN, ISERLOHN, SOWIE  
ULRICH PFAFFENHÖFER, LINZ / RHEIN

## **Neues Induktorkonzept für Rinnenöfen**

Erhöhung der Schmelzzeiten, Energieeinsparungen und optimale Standzeiten sind Ziele zur Kostensenkung in Schmelzbetrieben. Im folgenden ist ein Konzept zur Optimierung des Induktors am Beispiel eines Rinnenofens für NE-Metallgießereien dargestellt.



### **Einsatz von Induktionsrinnenöfen**

Der Induktionsrinnenofen wird zunehmend als Schmelzofen eingesetzt, weil sein Wirkungsgrad wesentlich besser ist als der des Tiegelofens. Bedingt dadurch werden immer leistungsfähigere Induktoren benötigt. Seit Jahrzehnten werden Forschungsprojekte betrieben um zu einer optimalen Rinnenform für Hochleistungsinduktoren zu gelangen. Die Anforderungen an Hochleistungsinduktoren, hinsichtlich Wärmetransport aus der Rinne in den Ofenraum und der Badbewegung, können durch gezieltes Einsetzen der elektromagnetischen Kräfte erfüllt werden. Anhand eines praktischen Beispiels wird gezeigt, welche Vorteile durch

Optimierungsmaßnahmen, wie Änderung der Rinnenform, Änderung der Schaltungsart und Optimierung des ganzen Induktors, erreicht werden können. Die optimierte Rinnenform gewährleistet - trotz höherer Schmelzleistung des Induktors - auch eine Verlängerung der Standzeit der Keramik. Die Beurteilung des Zustandes der optimierten Rinne ist durch gleichzeitiges Auswerten des Verschleißdiagramms der Rinne und der Temperaturmeßwerte am Schutzzyylinder möglich.

Dipl.-Ing. P. Drysch und Ing.(grad.) M. Niemann, Marx GmbH & Co KG  
Iserlohn; Dipl.-Ing. U. Pfaffenhöfer, Basalt-Feuerfest GmbH  
Linz/Rhein

## Energiewirtschaftliche Gegenüberstellung von Induktionsrinnen- und Induktionstiegelöfen

Der Induktionsrinnenofen hat gegenüber dem Induktionstiegelofen viele Vorteile. Insbesondere aus energiewirtschaftlichen Gründen wird dieser Ofentyp in Zukunft verstärkt zum Einsatz kommen.

So beträgt der Energieverbrauch zum Schmelzen von 1t Kupferlegierung 188 kWh. Dieser Wert wurde an einem 24-t-Rinnenofen (mit zwei 1200-KW-Induktoren) für die Kupfer-Zink-Legierung Cu58Zn38Pb4 gemessen. Der Wirkungsgrad des Ofens beträgt 89 bis 90%, die Schmelzleistung 12,8t/h [1].

Der Netzfrequenz-Tiegelofen gleicher Größe und Nennleistung unter gleichen Betriebsbedingungen benötigt rd. 250kWh/t, d.h., der Wirkungsgrad des Ofens beträgt 68%, die Schmelzleistung 9,6t/h. Um im Tiegelofen die gleiche Schmelzleistung von 12,8t/h zu erzielen, müßte die Nennleistung des Ofens auf mindestens 3200 KW erhöht werden. Das bedeutet sowohl höhere Investitionskosten als auch Energieverbrauchskosten.

Den Vorteilen des Rinnenofens standen bisher dessen Nachteile gegenüber, diese sind besonders:

- keine oder nur schwache Badbewegung im Ofenraum,
- ungenügender Wärmeaustausch zwischen Rinne und Ofenraum, der zu Überhitzung der Keramik im Rinnenbereich führte, sowie,
- durch übermäßige elektrodynamische Kräfte verursachtes Pinchen in der Rinne, was zu unvorhersehbaren Durchbrüchen der Schmelze im Induktor führte.

Diese Nachteile verstärkten sich mit steigender Induktorleistung. Zwischenzeitliche Veränderungen an den Rinnenformen brachten zwar teilweise Verbesserungen, konnten jedoch nicht als optimal angesehen werden.

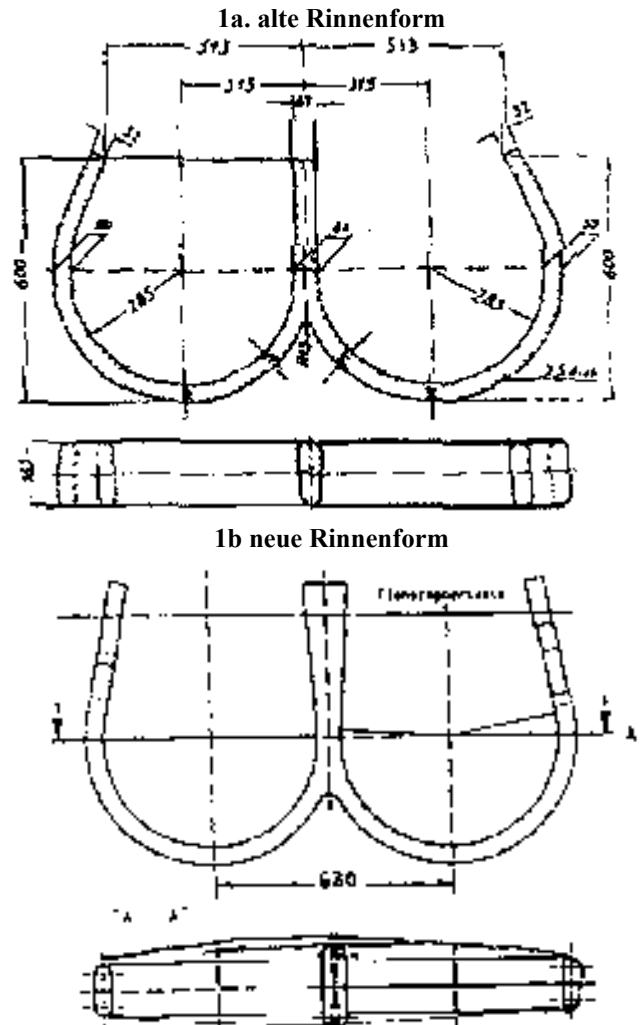
### Rinnenkonzept, Zustellung und Meßtechnik für die Induktor-Zustandsüberwachung

#### Theoretische Betrachtung

Die experimentellen Forschungsarbeiten zum Zweck der Optimierung der Rinnenform sind seit vielen Jahren geführt [2 bis 4]. Besonders viel wurde mit verschiedenen Formen und Querschnitten der Rinne [2, 4] experimentiert, um unidirektionales Strömungsverhalten der Schmelze in der Rinne (Transitströmung [4]) zu erreichen

Über die Theorie zur optimalen Auslegung von Rinneninduktoren sind nicht wenige Abhandlungen veröffentlicht worden, von denen die Beiträge [5 bis 7] zur optimalen Dimensionierung von Rinneninduktoren als besonders aufschlußreich angesehen werden können. Trotzdem ist bis zum heutigen Tage noch immer eine große Zahl von Induktoren und Rinnen nach Muster **Bild 1a** im Einsatz obwohl diese schon

bei Sumpfbadhöhe und mittleren Leistungen (300-400KW) zu starkem Pinchen neigen. Das Pinchen ist die Hauptursache für die nichtzufriedenstellende Schmelzleistung und mangelnde Standzeit der Keramik der Rinneninduktoren.



**Bild 1.** Durch Optimierung der Rinnenform stieg die Schmelzleistung um 11% und verminderte sich der Energieverbrauch um 10%.

Die Kraftwirkung der elektrischen Ströme in der Induktionsspule und in der Rinne des Induktors übt auf die Schmelze einen Druck aus, der bei unzureichendem Gegendruck zum Abreißen der Säule (Pinch-Effekt) führt. Die Mindestbadhöhe der Schmelze im Ofenraum, die erforderlich ist, um das Pinchen zu vermeiden, kann berechnet werden [7]. Die theoretischen Überlegungen [5, 6] zeigen, daß optimale Leistungs- und Kraftverhältnisse nur mit einem Einphasen-Induktor mit Doppelrinne zu erreichen sind. Basierend auf den erwähnten Erkenntnissen, kann die Rinne - ohne jeglichen experimentellen Aufwand - sowohl für bestehende wie auch für neu projektierte Rinnenöfen so berechnet und konstruiert werden, daß

- ausreichende Transitströmung den Wärmeaustausch zwischen Rinne und Ofenraum gewährleistet und für Badbewegung sorgt,
- die Überhitzung der Keramik in der Rinne vermieden wird,
- kein Pinchen auch nach dem Abgießen, d.h. bei Mindestbadhöhe, entsteht und
- der Ofen stets mit voller Nutzleistung beaufschlagt werden kann.

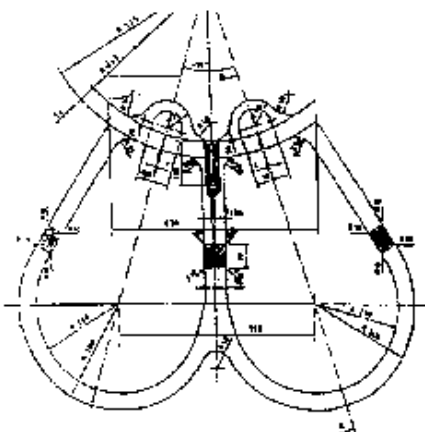
*Praktische Erfahrungen mit optimierten Rinneninduktoren*

Auf Grund der dargestellten theoretische Prinzipien wurden zuerst Rinnenformen und Rinneninduktoren für Schmelzöfen für Aluminium- und Kupferlegierungen entwickelt, die in der Praxis die gestellten Anforderungen an Leistung und Standzeit voll erfüllten.

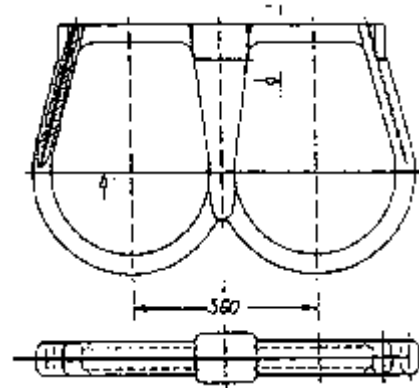
**Bild 1** zeigt ein Beispiel für die Optimierung der Rinnenform; alle anderen Teile des Induktors wurden beibehalten. Mit der alten Rinnenform (**Bild 1a**) konnte die Nennleistung des Induktors erst bei Füllgraden des Ofens über 80% genutzt werden, weil bei niedriger Badhöhe starkes Pinchen in der Rinne einsetzte. Die Verwirbelungen in der Schmelze führte zu Bildung von Kavernen in der Rinnenwand und schließlich nach wenigen Monaten zum Durchbruch der Schmelze zum Zylinder. Das Einsetzen der optimierten Rinne nach **Bild 1b** beseitigte das Pinchen, ermöglichte die Nutzung der Nennleistung über die gesamte Schmelzzeit des Ofens und brachte eine Schmelzleistungserhöhung um 11%, sowie eine Reduzierung des Energieverbrauches um 10% [8].

**Bild 2** zeigt ein Beispiel für die Optimierung des kompletten Rinneninduktors. Die Änderung des Induktors von Scott-Schaltung mit Rinnenform **Bild 2a** auf Einphasenschaltung mit Rinnenform **Bild 2b** ermöglicht die Erhöhung der Induktor- und Schmelzleistung um über 60%. Die Standzeit der Keramik wurde von 4 Monaten auf über 1 Jahr verlängert [9]. Das Ersetzen eines Einphasen 500-KW-Induktors mit Einfachrinne durch den Einphaseninduktor mit Doppelrinne nach **Bild 2b** brachte eine Erhöhung der Schmelzleistung um 22% und eine Senkung des Energieverbrauchs um 6% [10].

2a alte Rinnenform



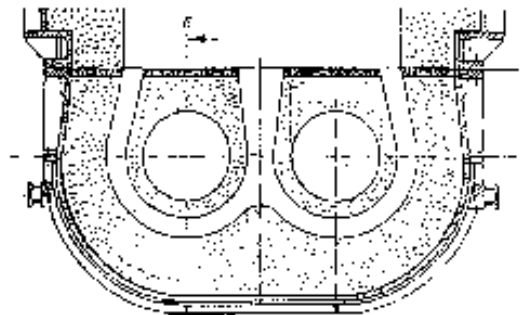
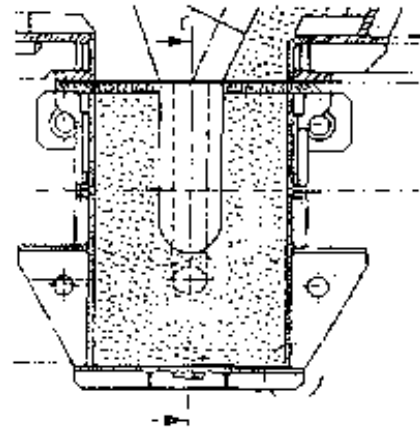
2b neue Rinnenform



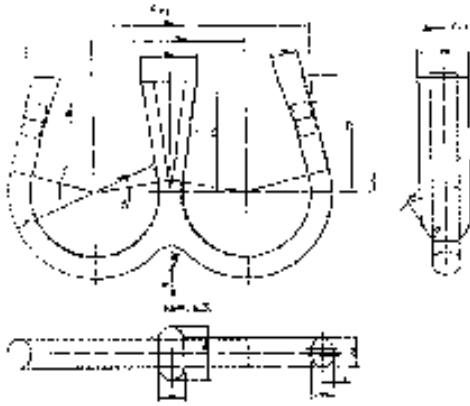
**Bild 2.** Durch Optimierung der Rinnenform und des Induktors an einem vorhandenen Schmelzofen stiegen die Leistung und die Schmelzleistung um rd. 60%.

Ein 14-t-Rinnenofen mit zwei 1000-KW-Induktoren in Scott-Schaltung zum Schmelzen von Kupfer-Zink-Legierungen, ausgerüstet mit neuen 1000-KW-Induktoren nach **Bild 3** und einer Rinne nach **Bild 4** in einphasiger Steinmetz-Schaltung, erreichte die in **Tafel 1** gezeigten Vergleichswerte [11].

Die **Bilder 3 und 4** zeigen einen einphasigen Induktor, der in dieser Form optimal sowohl für Kupferlegierungen wie auch für Gußeisen eingesetzt werden kann.



**Bild 3.** Beispiel für eine neue Rinnen- und Induktorkonstruktion



**Bild 4.** Formrinne für den Induktor in Bild 3 (dazu Verschleißdiagramm in Bild 5).

### Möglichkeiten der Überwachung des Zustandes der Rinne

Einer der wesentlichen Vorteile der optimierten Rinnenform (Beispiel: **Bilder 1b, 2b, und 4**) ist das kontinuierliche Verschleißverhalten des Rinnenkanals, welche die Möglichkeit der Überwachung des Zustandes der Rinne mit Hilfe eines Verschleißdiagramms und durch Temperaturmessung am Schutzzyylinder gibt.

Dadurch, daß in der optimierten Rinne keine schlagartigen Strömungsänderungen eintreten und auch stärkere Verwirbelungen der Schmelze ausgeschlossen sind, wird eine längere Standzeit der keramischen Auskleidung des Induktors erreicht. Ist die Strömung der Schmelze in der Rinne laminar, verschleißt die Keramik des Rinnenkanals grundsätzlich durch gleichmäßigen Abrieb und ggf. gleichmäßiges Zusetzen der Kanalwände.

Für diese Änderung der Rinne läßt sich aufgrund der Messung der Nennbetriebswerte für Induktorspannung  $U$ , Induktorstrom  $I$  und Induktorleistung  $P$  nach der Inbetriebnahme des Induktors ein Verschleißdiagramm vorberechnen (**Bild 5**) [12].

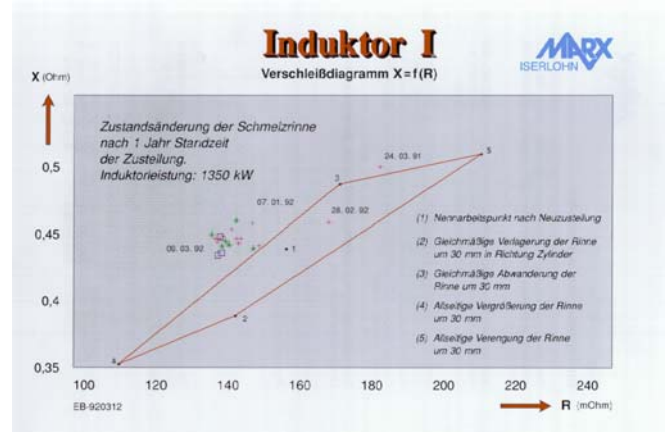
Das Verschleißdiagramm beinhaltet eingetragene Werte des Ersatzwiderstandes und der Ersatzreaktanz der elektrischen Betriebsdaten des Induktors für die Zustände der Rinne:

- (1) Nennarbeitspunkt (neue Rinne),
- (2) gleichmäßige Verlagerung der (neuen) Rinne in Richtung Schutzzyylinder,
- (3) gleichmäßige Abwanderung der (neuen) Rinne weg vom Schutzzyylinder
- (4) allseitige Vergrößerung (Wandabrieb) des Rinnenkanals und
- (5) allseitige Verengung (Zusetzen) des

**Tafel1.** Ergebnisse nach Substitution von zwei 1000-kW-Induktoren (Scott-System) durch zwei optimierte einphasige Induktoren mit Steinmetz-Schaltung.

Chargiermaterial	Cu-Granulat+Zn-Blöcke	Cu58Zn38Pb4-Späne	Cu58Zn38Pb-Schrott
mittlere Induktorleistung	+ 36,71 %	+ 32,53 %	+ 25,22 %
Energieverbrauch	- 24,52 %	- 07,63 %	- 01,08 %
Schmelzleistung	+ 76,73 %	+ 44,4 %	+ 34,91 %

### Rinnenkanals.



**Bild 5.** Verschleißdiagramm für Induktor und Rinne

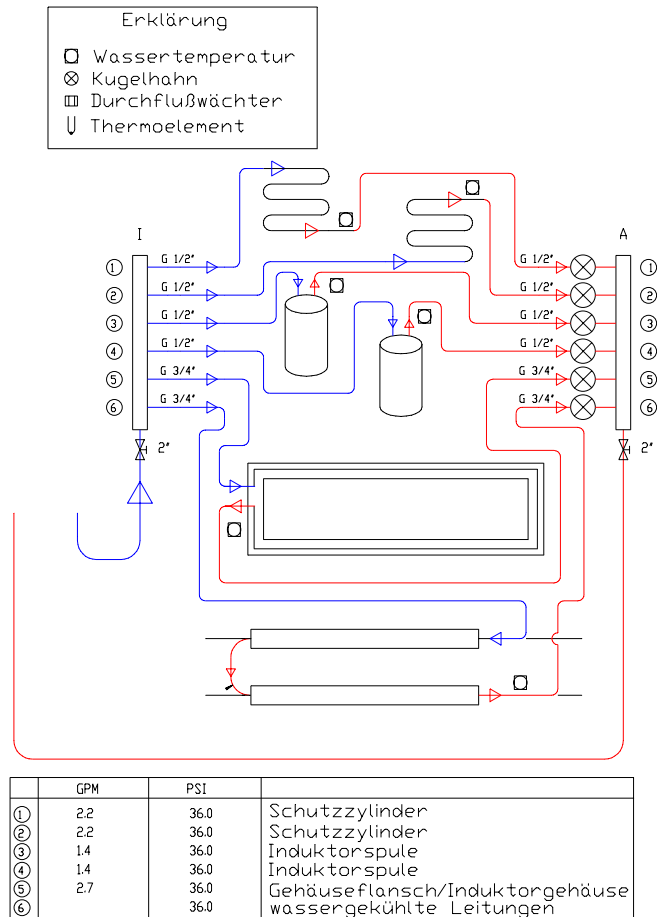
In **Bild 5** ist das Verschleißdiagramm für den Induktor in **Bild 3** mit der Rinne in **Bild 4** (Nennleistung 1350 KW) dargestellt. Der Induktor wurde am 29. Februar 1991 in Betrieb und am 9. März 1992 außer Betrieb genommen. Die zuletzt registrierten Betriebspunkte des Induktors lassen aus der Lage im Verschleißdiagramm schließen, daß Abrieb der Keramik an der Außenwand und Zusetzen an der Innenwand stattfand, was auch durch eine Überprüfung am ausgebauten Induktor bestätigt wurde.

Hochleistungsinduktoren werden grundsätzlich wassergekühlt. Hierzu gehört die Anwendung eines wassergekühlten Schutzzyinders aus Kupferblech, der die bestmögliche Temperaturverteilung in der Keramik bewirkt und die Zylindertemperatur auf der ganzen Zylinderlänge fast konstant hält.

In **Bild 6** sind die Meßpunkte für die Kühlwassertemperatur gekennzeichnet. Die Überwachung der Kühlwassertemperatur am Schutzzyylinder, in Verbindung mit dem Verschleißdiagramm, gibt Auskunft über das Änderungsverhalten der Rinne. Im Zustand der Rinne nach **Bild 5** ist eine Änderung der Kühlwassertemperatur kaum zu erwarten. Sollten die aktuellen Betriebspunkte deutlich in Richtung Eckpunkt (4) wandern, ist ein allmählicher Anstieg der Kühlwassertemperatur zu verzeichnen.

Die Optimierung der Rinnenform und des Induktors in bestehenden Rinnenofenanlagen ermöglicht eine beträchtliche Steigerung der Schmelzleistung ohne hohen Kostenaufwand, verlängert gleichzeitig die Standzeit der Keramik, was zur weiteren

Kostensenkung im Schmelzbetrieb führt. Das Verschleißdiagramm - sinnvoll nur für optimierte Induktoren einsetzbar - sichert in Verbindung mit der Kühlwassertemperatur-Überwachung am Schutzzyylinder die volle Ausnutzung der längeren Standzeit der Induktorzustellung.



**Bild 6** Meßpunkte für die Kühlwassertemperatur

### Ein konkretes Beispiel zur Schmelzkostensenkung

Bei der Firma Elkhart/Corp., Fayetteville, AR/USA, nahmenhafter Hersteller von Kupferrohren und -stanzen, wurde mit Induktionsrinnenöfen gearbeitet, die hinsichtlich der Standzeit und des Leistungseintrages in das Schmelzgut unökonomisch betrieben wurden. Bedingt durch hohe Qualitätsforderungen (kleine Toleranzen) und unterschiedliche Durchmesser, werden an den Schmelzprozeß entsprechende Anforderungen gestellt. Aufgrund ständig steigender Kosten wurden Verbesserungsmöglichkeiten gesucht.

### Aufgabenstellung aus der Sicht des bisherigen Ist-Zustandes

Die bisherige 400-KW-Anlage wurde auf 500 KW aufgerüstet. Bereits bei der früheren

Leistungseinspeisung mit 400 KW gab es regelmäßig Induktorprobleme. Die Haltbarkeitsdauer des Induktors erreichte nicht mehr als 3 Monate.

Zu einem späteren Zeitpunkt wurde die alte Leistungseinspeisung über Transformator und Drossel, auf 60 Hz bezogen, durch einen Umrichter ersetzt, der dann vorläufig mit 500 KW Leistung (einphasig 60 Hz) belastet werden kann.

Aufgrund des starken Pinchens und dadurch der nicht akzeptablen Standzeiten des Induktors konnte die Leistung jedoch nur mit 420 KW gefahren werden. Die Haltbarkeitsdauer des Induktors blieb bei maximal 3 Monaten.

Bei dem Induktor handelt es sich um einen einphasigen, mit einer Spule und einer Rinne ausgerüsteten Typ. Das Gehäuse war nur an den Seitenflächen wassergekühlt. Dies führte zu einer ungleichmäßigen Wärmeverteilung mit örtlichen Überhitzungen. Der bisherige Einsatz eines wassergekühlten Schutzzyinders aus Edelstahl führte ebenfalls zu einer ungenügenden Wärmeverteilung innerhalb der Keramik, so daß dadurch Spannungsrisse in der Keramik vorprogrammiert waren.

Aufgrund der durchgeführten Prüfungen war erkennbar, daß die Leistungsdichte des Induktors und seine geometrischen Abmessungen einer optimalen Auslegung nicht genügen.

### Einsatz eines neuen Induktors

In Auswertung der Aufgabenstellung und aufgrund direkter Vor-Ort-Untersuchungen wurde ein neuer Doppel-Rinneninduktor (einphasig) mit 500 KW Induktorleistung (bei 620V, 60Hz und 3000A, **Bild 7**) - auf 600 KW erweiterbar - entwickelt. Die Schutzzyylinder wurden in wassergekühlter Kupferausführung eingesetzt, um den Wärmeübergang in der Keramik verbessern. Die neugeformte Rinne besteht aus massiv gegossenem Kupfer und ist der Strömung so angepaßt, daß eine orientierte Schmelzbewegung stattfinden kann.



**Bild 7.** Rinneninduktor: Nennleistung 500 KW; Nennspannung 550/620 V; Nennfrequenz 50/60 Hz



**Betriebserfahrungen mit dem Induktor**

*Betriebsdauer.* Der Induktor wurde am 7. Juni 1995 erstmals in Betrieb genommen und nach rd. 14 Monaten ununterbrochener Betriebszeit Anfang August 1996 gezielt außer Betrieb gesetzt. Der Zustand der Rinne erwies sich als vollkommen neuwertig (**Bilder 8 und 9**), die Rinne wies keinen Verschleiß und keine partiellen Auswaschungen bzw. Anwachsungen auf; dies zeigt, daß die Induktorleistung in unidirektional laminaren Strömung der Schmelze in der Rinne umgesetzt wurde. Aufgrund des vorgefundenen Rinnenzustandes nach 14 Monaten Betriebszeit ist davon auszugehen, daß die Standzeit der Zustellung weitere 2 bis 3 Jahre gewährleistet sein würde.

*Meßwerte.* **Tafel 2** enthält Meßwerte, die beim Sintern und bei der Inbetriebnahme des Reserve-Induktors am 9. und 10. August 1996 aufgenommen wurden. Die Kühlwassermengen am Induktor wurden vorerst nur grob eingestellt. Wie bei der Inbetriebnahme 1995 müssen die Kühlwassermengen der einzelnen Kühlkreise so eingestellt werden, daß die Temperatur an den Meßpunkten 1 bis 5 (**Bild 6**) zwischen 60 und 65°C liegen, damit eine spätere Beurteilung des Rinnenzustandes möglich ist.

**Zusammenfassung der Ergebnisse**

1. Die Betriebswerte bei Nennleistung, aufgenommen am 10. August 1996, sind nahezu gleich den Meßwerten bei Inbetriebnahme vom 7. bis 13. Juni 1995. Die geringfügigen Abweichungen bei Nennleistung für

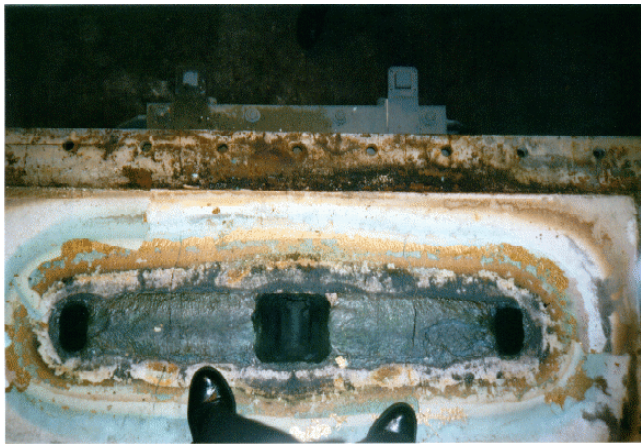
**Tafel 2.** Bei der Sinterung und Inbetriebnahme des Reserveinduktors aufgenommene Meßwerte

Zeit	Induktor - Daten				Induktor-Temp. °C					Ofen - Daten, Temperatur °C					
	Hz	kW	V	A	1	2	3	4	5	Ober- fläche	#8	#3	#4	#5	#6
<b>August 09.1996</b>															
07:42	12	10*	130	310							598	809	403		
08:00	12	10*	130	310	32	28	30	29	29		624	813	431		
12:00	12	10*	130	310	37	30	30	30	30		739	821	566	663	588
14:25	12	10*	130	310	38	30	36	32	31		751	817	587	679	609
14:30	24	20/30*	200	680	38	31	37	35	33		618	768	618	707	640
16:00	20	30*	200	600	40	34	38	35	35		872	901	768	856	791
16:30	20	30*	200	600	40	35	40	36	35		878	920	794	879	814
16:50	20	30*	200	600							888	948	831	916	852
17:00	36	48*	240	950	41	35	40	38	35		870	959	853	939	876
<b>17:02 Einguß: flüssiges Kupfer aus MF-Tiegelofen</b>															
17:02	40	60*	240	1100	41	35	41	39	35					950	888
17:25	42	80*	260	1250	(POTI-Stellung: 18,5%)										1028
17:45	47	160*	320	1500											
<b>August 10. 1996</b>															
10:10	44	125*	285	1350	43	38	47	43	39						
10:30	44	125*	285	1350	43	38	47	43	40	chargieren					↓ 1189
10:40	58	520*	605	2680	43	39	50	50	41	chargieren					↓ 1155
10:40	57/ 58	500*	605	2600						chargieren					
10:45	58	500*	605	2600	47	52	55	58	44	chargieren					↓ 1147

- die Induktorspannung mit 605 V gegenüber 610 V (rd. - 0,82%) und
  - den Induktorstrom mit 2.600 A gegenüber 2.650 A (rd. - 1,89%)
- liegen im Bereich der Meßtoleranz und können für die Auswertung des Verschleißdiagramms vernachlässigt werden, so daß das Verschleißdiagramm für die Beurteilung des Rinnenzustandes ohne Korrektur weiter verwendet werden kann.



**Bild 8.** Rinnenzustand nach 14 Monaten Betriebszeit (Seitenkanal)



**Bild 9** Rinnenzustand nach 14 Monaten Betriebszeit (Seiten- und Mittelkanal)

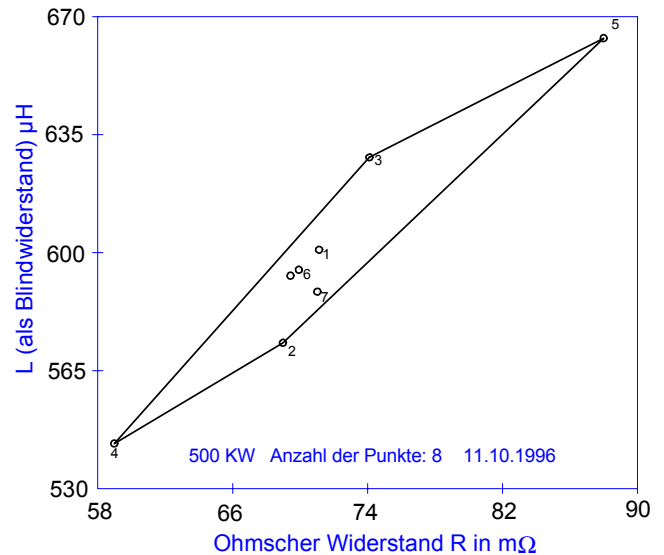
2. Das Kühlwasser muß in allen Kühlkreisen (1 bis 5 in **Bild 6**) auf eine gleiche Ausgangstemperatur eingestellt werden.
3. Die Überwachung des Rinnenzustandes mit Hilfe des Verschleißdiagramms und durch Temperaturmessung an jedem Kühlkreislauf hat sich voll bewährt; bis zuletzt deuteten die aktuellen Induktor-Arbeitspunkte auf fast neun Rinnenzustand, was bei der Besichtigung des ausgebauten Induktors bestätigt wurde

4. Aufgrund des Befundes könnte - unter gleichen Betriebsbedingungen - mit einer Standzeit von mindestens 2 Jahren gerechnet werden.

*Auswertungen des Verschleißdiagramms nach 14 Monaten Betriebszeit*

Im Verschleißdiagramm (**Bild 10**) stellen die Punkte 1 bis 5 die Werte des neuen Induktors nach Inbetriebnahme dar. Punkt 1 (Nennarbeitspunkt) gilt also für Neuzustellung. Für den Fall einer Verlagerung dieses Punktes 1 in Richtung 2,3,4 oder 5 wäre der Verschleiß der Rinne mit bis zu 10 mm abzulesen.

Anhand der Meßdaten Punkt 6 bis 8 ist deutlich erkennbar, daß der Nennarbeitspunkt 1 mit rd. 1 mm nur unwesentlich verändert im Arbeitsdiagramm erhalten blieb.



Nr.	Datum	f [Hz]	U [V]	I [A]	P [KW]	R [mΩ]	L [µH]
1	13.06.95	58	610	2650	500	71,2	600,7
2	13.06.95	58	610	2772	530	69,0	573,5
3	13.06.95	58	610	2535	475	74,0	628,4
4	13.06.95	58	610	2953	514	59,0	543,3
5	13.06.95	58	610	2369	494	88,0	664,1
6	26.02.96	58	610	2675	500	69,9	595,6
7	04.03.96	58	610	2650	500	71,2	589,8
8	11.03.96	58	610	2680	500	69,6	594,6

**Bild 10.** Verschleißdiagramm des Rinneninduktors

*Kostenbetrachtung*

In **Tafel 3** sind Preise und Kosten als Grundlage für die Berechnung der durch die Installation eines Hochleistungsinduktors mit hochwertigem Feuerfestmaterial erzielten Kosteneinsparungen bei der Firma Elkhart Corp. zusammengestellt [13]. Die Gesamtzustellkosten und die Zustellkosten je Tonne Kupfer enthält **Tafel 4**. Als erstaunliches Ergebnis errechnete sich hieraus eine Amortisationszeit von rd. 44 Tagen nach dem vorgeplanten Ausbau des Induktors nach 14 Monaten durchgehender Betriebszeit. Da der sehr gute Zustand des Induktors auf eine erheblich höhere Haltbarkeitsdauer schließen

läßt, kann mit einer tatsächlichen Amortisationszeit von unter einem Monat gerechnet werden.

**Tafel 3** Berechnungsgrundlage am Beispiel der Firma Elkhart, Corp.

Schmelzleistung		
- alter Induktor (500 KW)	1,2	t/h
- Hochleistungsinduktor (500 KW)	1,8	t/h
Kosten Induktorumbau	200.000	DM*
Saure Trockenstampfmasse Oberofen	500	DM/t*
Halbplastische Stampfmasse Oberofen	1.500	DM/t*
T/Cu-MSL für Induktor	625	DM/t
80 Sp für Oberofen	2.250	DM/t
Moler-Isoliersteine	1,40	DM/Stück
Feuerleichtstein	3,50	DM/Stück
Nefalit 16, 10 mm dick	1,50	DM/m <sup>2</sup>
Kosten je Arbeitsstunde	50	DM/h*
Kosten Reinkupfer	4.000	DM/t*
Deckungsbeitrag (10 % vom Kupferpreis)	400	DM/t*
Standzeit		
- vor Umbau	3	Monate
- nach Umbau mit neuen Feuerfestmaterial	14	Monate
Erwartete Haltbarkeit	24	Monate
Arbeitszeiten		
- 24 h / Tag		
- 5 Tage / Woche		
- 11 Monate / Jahr		

\*angenommene Werte

Bei dieser Kostenbetrachtung wurden eigene Werte angenommen, die in **Tafel 3** mit einem Sternchen gekennzeichnet sind. Diese Werte sind zuungunsten dieser Rechnung angegeben. Auch soll diese Berechnung nur eine Hilfe sein, mit der Gießereien ihre tatsächlichen Kosten richtig erfassen können.

An dieser Stelle soll aus der Sicht eines Feuerfesterstellers klargestellt werden, was richtigerweise unter einem Hochleistungsinduktor zu verstehen ist. Fälschlicherweise wird heute oft dann von Hochleistungsinduktoren gesprochen, wenn ein Induktor eine Leistung von über 600 KW hat. Es ist aber nicht die Leistung, sondern die Schmelzleistung je KW, die Aufschluß gibt, ob "Hochleistung" vorhanden ist. So kann bei 1000-KW-Induktoren, die aufgrund des Pincheffektes nur eine Schmelzleistung von 1,2 t/h haben, nicht von Hochleistungsinduktoren gesprochen werden, was sowohl metallurgisch als auch Feuerfestprobleme mit sich bringt.

Einen Induktor, der bei 500 KW eine Schmelzleistung einschließlich Nebenzeiten von 1,8 t/h hat, muß dagegen als Hochleistungsinduktor betrachtet werden. Eine enge und intensive Entwicklungs und Zusammenarbeit zwischen dem Industrieofenbauer und dem Hersteller des Feuerfestmaterials und auch der Gießereist deshalb stets dringend zu empfehlen.

### Schlußbetrachtung

Die Kenntnis, daß die Rinne als geschlossene Sekundärwicklung eines Trafos die Energieübertragung in das Metallbad darstellt, ist für die optimale Auslegung von entscheidender Bedeutung.

Von entscheidender Bedeutung ist auch, daß die enge Zusammenarbeit des Ofens- und des Feuerfesterstellers ein Kriterium für hohe Standzeiten darstellt.

Nur so lassen sich die wichtigsten Kostenfragen, wie Erhöhung der Schmelzzeiten, Energieeinsparung und optimale Standzeiten, im Interesse einer jeden Gießerei lösen.

Das vorliegende Beispiel für Rinnenöfen für NE-Metallgießereien ist grundsätzlich auch auf Eisengießereien zu übertragbar.

Selbstverständlich sind dabei Besonderheiten der höheren Verarbeitungstemperatur und der elektromagnetischen Ankopplung zu berücksichtigen.

**Tafel 4** Vergleich der Gesamtzustellkosten für den alten Induktor und den Hochleistungsinduktor mit hochwertigem Feuerfestmaterial und Amortisationszeit

Gesamtzustellkosten für eine Zustellung	
- alter Induktor	212.620 DM
- Hochleistungsinduktor mit hochwertigem Feuerfestmaterial	218.810 DM
Zustellkosten je Tonne Kupfer	
- alter Induktor	123,05 DM/t Cu
- Hochleistungsinduktor mit hochwertigem Feuerfestmaterial	18,09 DM/t Cu
- Einsparung	104,96 DM/t Cu
Amortisationszeit (14 Monate)	44,1 Arbeitstage <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Unter Berücksichtigung, daß der Ofen 24 Monate hätte arbeiten können, liegt die Amortisationszeit bei rd. 25,7 Arbeitstagen



## Schrifttum

- [1] Horoszko, E.:  
Ein Beitrag zur Theorie des Induktions-Rinnenofens.  
Elektrowärme international 30 (1972) B3 Juni
- [2] Todnem, O.:  
Weiterentwicklung des Induktion-Rinnenofens. Nr. 152, Institut für Elektrische Anlagen und Elektrowärme bei der Norwegischen Technischen Hochschule, Trondheim, Norwegen, 1970/72
- [3] Schluckebier, D.:  
Induktoren zum Schmelzen von Schwermetall, insbesondere mit höherer Leistung. Elektrowärme international 31 (1973) B6, Dezember
- [4] Horoszko, E.:  
Unsymmetrien an Induktions-Rinnenöfen, Elektrowärme international 33 (1975) B6, Dezember
- [5] MARX-Bericht Nr. EB-940802/M über die Bestandsaufnahme - Leistungsdaten der Rinnenöfen: 1, 3 und 4, Bolzenguß, Gebr. Seppelfricke GmbH & Co. KG Marx GmbH & Co. KG, 58638-Iserlohn, Germany, Tel.++49-2371-2105-0, FAX...-11
- [6] MARX-Bericht EB-940506/1 & EB-94061401, Messung der elektrischen Werte an Rinnenöfen Nr. 2 bis 5, Montanwerke Brixlegg.
- [7] Report of melt rate test of melt furnace inductor AA161401, Elkhart Products Corporation, Fayetteville AR. MARX-Bericht EB-950703
- [8] MARX-Bericht Nr. 3265 über den Nachweis der Schmelzleistung des Induktions- Rinnenofens AA600150 mit Induktoren AA161360. MARX-Bericht Nr. 3265 vom 19. October 1989
- [9] MARX-Bericht über den Leistungsnachweis zur Leistungserhöhung eines Induktions- Rinnenofens Fabr. RUSS von 750 kW auf 1000 kW je Induktor. Kabelmetall-Messing, Berlin. MARX-Bericht EB-920213
- [10] Nacke B., Walther A., Eggers A., Lüdtko U.:  
Optimierung des Betriebsverhaltens von Rinneninduktoren. Elektrowärme international 49 (1991) B4, November 1991
- [11] Zolotukhin, V.A.:  
Performance of high capacity channel induction furnaces for melting aluminium and its alloys. Tekhnol. Legkikh Splavov. N-T Byul. VILSa, (4): 62-66 (1973), Translation from Russian.
- [12] Dr. F.W. Thomas, P. Drysch:  
Zustandskontrolle eines Rinneninduktors mittels Verschleißdiagramm. Gießerei-Erfahrungsaustausch 2/93
- [13] Pfaffenhöfer, U.:  
Kosten von Hochleistungsinduktoren anhand eines Beispiels der Fa. Elkhart Corp. / USA
- [14] Drysch, P.:  
Increasing the melting rate and inductor lining life of channel furnaces by optimization of the channel

design. International Channel and Coreless Induction Melting of Iron Conference, October 6-8, 1995, Chicago, IL/USA. AFS Cast Metals Institute Inc. Des Plaines, IL/USA.