

HVG-Mitteilung Nr. 2095

Die elektrische Zusatzbeheizung für Schmelzwannen –Technologiestand 2005

R. Kessel, R. Sims, Nikolaus Sorg GmbH & Co. KG, Lohr am Main

Vortrag auf der 79. Glastechnischen Tagung am 24. Mai 2005 in Würzburg

Die elektrische Zusatzbeheizung unter Einsatz von Molybdän-Stabelektroden, so wie wir sie heute kennen, stammt aus den 50er Jahren. Zwischenzeitlich wurde vieles standardisiert und befindet sich bei fast allen Systemen dieser Art im Einsatz. Aufgrund von Zeit- und Platzmangel werden diese Punkte hier nicht behandelt. Trotz der Erfahrung von 50 Jahren gibt es andere Punkte, die noch nicht so genau definiert sind, so dass verschiedene Lösungen infrage kommen können. Einige dieser Punkte sollen hier behandelt werden.

Warum werden Booster installiert?

1.1 Um die Schmelzleistung zu steigern

Elektrische Zusatzbeheizungen (so genannte Booster) werden aus verschiedenen Gründen in konventionelle Schmelzwannen eingebaut. Häufig geht es darum, die Schmelzleistung der Wanne über das hinaus anzuheben, was die Wanne nur mit der Fossilbeheizung leisten kann. Hierfür wird in den meisten Fällen ein Schmelzbooster eingebaut. Elektroden werden im hinteren Bereich der Wanne installiert und die elektrische Leistung wird dort eingegeben, wo das Glas geschmolzen wird. Die Anwendung der direkten elektrischen Beheizung, indem die Energie direkt ins Glasbad freigesetzt wird, bietet zwei schmelztechnische Vorteile. Primär wird zusätzliche Energie dem Glasbad zugeführt, was für eine Steigerung der Schmelzleistung unbedingt notwendig ist. Darüber hinaus kann diese Energie auch in den tiefer liegenden Bereichen des Glasbades eingesetzt werden, die normalerweise nicht direkt mit der Fossilbefeuerng beheizt werden können.

Bei solchen Schmelzboostern können Elektroden waagrecht durch die Seitenwände installiert werden. Die typische Anordnung bei einer U-Flammenwanne umfasst jeweils eine Elektrodengruppe an den beiden Wannenseiten, etwa in der Höhe des herkömmlichen Quellpunktes, mit einer weiteren Elektrodengruppe an der Rückwand unterhalb der Brennermäuler. Der Abstand zwischen den Elektrodengruppen richtet sich weitgehend nach den Abmessungen (Länge und Breite) des Bassins. Eine Festlegung der Abstände nach betrieblichen Gesichtspunkten ist kaum möglich.

Das Glas stellt einen rein ohmschen Lastwiderstand dar. In der Schmelzwanne herrscht eine komplexe Temperaturverteilung, und die Verteilung der elektrischen Widerstände ist ebenfalls sehr unübersichtlich. Mittels einfacher Überlegungen können allerdings die folgenden zwei Grundtatsachen festgestellt werden:

- die höchsten elektrischen Ströme fließen entlang des Weges des geringsten elektrischen Widerstandes,
- die Glastemperaturen neigen dazu, in der Nähe der Glasbadoberfläche am höchsten zu sein.

Daraus schließt man folgerichtig, dass sich bei der direkten elektrischen Beheizung eine Grundtendenz herausbildet, indem mehr Leistung in den bereits heißeren Glasschichten in der Nähe der Glasbadoberfläche entwickelt wird und entsprechend weniger in den tiefer liegenden kälteren Schichten. Bei kleineren Wannen ist dieser Effekt gering, falls er über-

haupt existiert. Im Falle größerer Wannen nimmt jedoch der Abstand der Elektrodengruppen Dimensionen an, die den Effekt durchaus zulassen.

Werden die Elektroden senkrecht durch den Boden installiert, eröffnen sich einige neue Gestaltungsmöglichkeiten der Elektrodenanordnung gegenüber der Version mit waagrecht installierten Seitenwandelectroden. Grundsätzlich können die Elektrodenabstände kleiner gehalten werden, da man nicht mehr an die Länge bzw. die Breite des Bassins gebunden ist. Ebenso ist man auch nicht mehr an die starre Anwendung von 3 Elektrodengruppen gebunden. Die Elektroden können über einen Teil oder die gesamte Fläche des Schmelzbereiches der Wanne verteilt werden.

Aufgrund der daraus resultierenden geringeren Abstände kann die bevorzugte Beheizung der oberen Glasschichten weitgehend unterbunden werden, woraus sich eine wesentlich bessere direkte Beheizung der kälteren tieferen Schichten ergibt. Kurz gesagt - ein Schmelzbooster mit Bodenelektroden weist eine bessere Effektivität als ein vergleichbares System mit Seitenelektroden auf, insbesondere bei größeren Wannen.

Es gibt aber einen weiteren Faktor, der bei der Entscheidung zwischen Boden- und Seitenwandelectroden eine wichtige Rolle spielt. Heutzutage werden in vielen Schmelzwannen sehr viele Scherben eingesetzt und es ist leider ausreichend bekannt, dass damit in manchen Anlagen größere Mengen Metalle in die Schmelzwanne eingetragen werden. Das Metall sammelt sich am Boden der Wanne und bildet eine elektrisch leitende Schicht. Werden Bodenelektroden eingesetzt, kann unter solchen Umständen ein elektrischer Kurzschluss zwischen den Elektroden entstehen, was zu erheblichen Schäden führen kann. Daraus folgt, dass bei Schmelzwannen mit einem hohen Scherbeneinsatz, trotz unbestrittener Vorteile, die Anwendung von Bodenelektroden nur dann empfohlen werden kann, wenn die Qualität der Scherbenaufbereitung einen wesentlichen Eintrag von Metallen in die Schmelzwanne fast völlig ausschließt.

1.2 Die Ökonomie des Einsatzes eines Schmelzboosters

Der ökonomische Aspekt des Einsatzes eines Schmelzbooster soll auch nicht unerwähnt bleiben. In den meisten Ländern ist elektrische Energie teurer als Energie aus Öl oder Gas, so dass trotz eines wesentlich besseren Wirkungsgrades der elektrischen Energie die Schmelzkostenvorteile klar bei fossilen Energiequellen liegen. Der Einsatz eines elektrischen Booster kann sich aber trotzdem rechnen.

Eine konventionelle Wanne wird für eine bestimmte Schmelzleistung ausgelegt. Bei entsprechenden Voraussetzungen kann die Wanne einen hervorragenden spezifischen Energieverbrauch erreichen. Wird aber in der Praxis die Wanne aus markttechnischen Gründen mit einer geringeren Schmelzleistung als der Nennleistung betrieben, so steigt der spezifische Energieverbrauch und damit die tatsächlichen Energiekosten. Falls das zu erwartende Betriebsprofil einer Wanne eine mittlere Schmelzleistung mit darüber hinaus gehenden Spitzen aufweist, kann es sich beispielsweise lohnen, die Wanne für die mittlere Leistung auszulegen und die Spitzenleistungen mit einem Booster zu bewältigen.

Bei kleinen Wannen kann ein Schmelzbooster lediglich eine Leistung von nur einigen hundert kW aufweisen, während bei großen Wannen (z.B. 300+ t/24h Behälterglas) ein Schmelzbooster auch eine Leistung von über 2 MW haben kann. Bei höheren elektrischen Leistungen ist es sinnvoll, die Leistung zwecks besserer Dosierbarkeit in zwei unabhängig voneinander arbeitende Booster aufzuteilen.

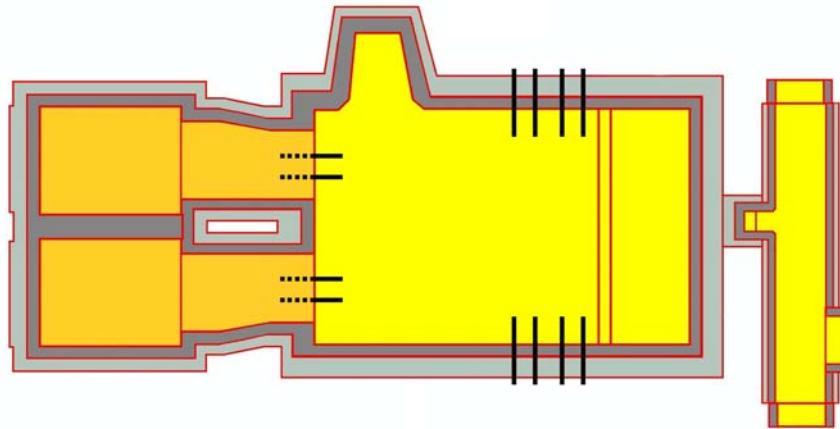


Bild 1: Typischer Schmelzbooster mit waagerechten Elektroden.

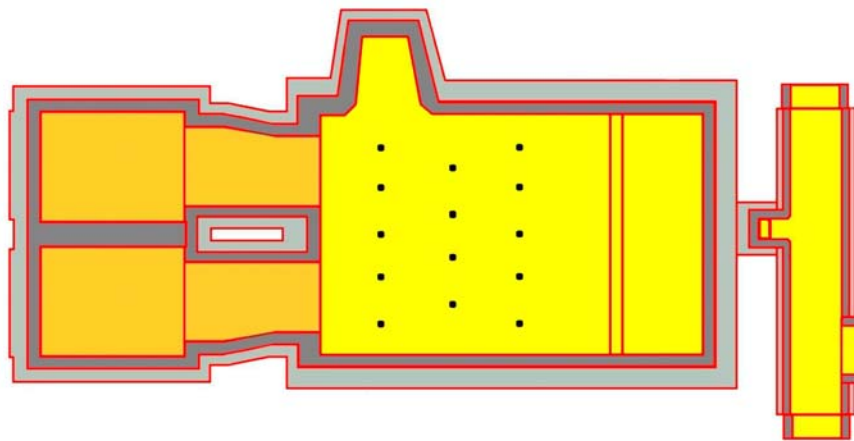


Bild 2: Typischer Schmelzbooster mit senkrechten Elektroden.

1.3 Um die Glasqualität zu verbessern

Eine Qualitätsverbesserung ohne Leistungssteigerung kann auch Zielstellung für den Einbau eines Boosters sein. Die Glasqualität wird durch das Geschehen entlang der kritischen Strömungslinie bestimmt. Das Strömungsbild innerhalb der Wanne und insbesondere die Temperatur des Glases am Boden der Schmelzwanne sind hier von Bedeutung. So genannte Barrierebooster werden installiert, um hier Einfluss zu nehmen.

Ein Barrierebooster besteht in der Regel aus einer Reihe Bodenelektroden, die quer über das Bassin - etwa in Höhe des Quellpunktes - installiert sind. Die durch die Elektroden verursachte Aufwärtsströmung verstärkt den Quellpunkt und die damit errichtete Barriere zwischen Schmelz- und Lötterteil der Wanne. Kälteres Bodenglas wird nach oben befördert, wo es durch die konventionelle Beheizung aufgeheizt werden kann. Es wird gleichzeitig durch heißeres Glas von der Oberfläche ersetzt, so dass ein Anstieg der Bodentemperatur erreicht wird.

Ein Barrierebooster hat allerdings auch einen weiteren Vorteil. Der von dem konventionellen Quellpunkt aus nach hinten an die Oberfläche verlaufende Konvektionsstrom wird verstärkt und aufgeheizt. Damit wird mehr Energie in den eigentlichen Schmelzteil der Wanne

zurücktransportiert, und es kommt zu einem mäßigen, aber immerhin feststellbaren Anstieg der Schmelzleistung. Die installierte Leistung eines Barrierebooster-Systems beträgt normalerweise zwischen 500 und 1000 kW.

1.4 Um einen bestimmten Bereich gezielt zu beheizen

Die Vorteile der direkten elektrische Beheizung können auch dazu benutzt werden, um Bereiche des Glasbades zu beheizen, die sonst nur mühsam oder eventuell überhaupt nicht gezielt mit der konventionellen Beheizung beheizt werden können. Ein typisches Beispiel dieser Art von Booster ist die Durchlassbeheizung, die sinnvollerweise in jeder Farbglaswanne installiert werden sollte. Mit 2 oder 3 Elektroden kann der komplette Bereich zwischen Eingang Durchlass auf der Schmelzwannenseite und Ausgang Riser auf der Arbeitswannenseite beheizt werden, damit bei niedrigem oder fehlendem Durchsatz diese Bereiche nicht zu kalt werden. Solche gezielten Beheizungssysteme werden zwar häufig im Durchlass und Riser eingebaut, können aber ebenso zur Vermeidung von Entglasungen oder zur Verbesserung der thermischen Homogenität in Arbeitswannen und Vorherden vorgesehen werden.

2. Booster-Leistungen

2.1 Spezifischer Leistungsbedarf

Der genaue Leistungsbedarf, um einen gewissen Anstieg der Schmelzleistung zu erreichen, ist schwierig zu definieren. Der theoretische Energiebedarf, um Glas zu schmelzen, hängt von einigen Faktoren ab. Der Scherbengehalt allein ist dafür verantwortlich, dass der theoretische Energiebedarf von 605 (0 % Scherben) auf 448 kcal/kg Glas (75 % Scherben) herabgesetzt wird – eine Reduzierung von mehr als 25 %. Für die Auslegung eines Boosters bei Kalk-Natron-Glas werden häufig Werte zwischen 28 und 30 kW pro Tagestone angenommen.

Es wird manchmal behauptet, dass das ein oder andere Boostersystem weniger als die theoretische Energiemenge pro zusätzlich geschmolzener Tonne Glas verbraucht, was einer Effizienz von mehr als 100 % gleichzusetzen wäre. Diese offenbar unmögliche Situation wird einfach dadurch erklärt, dass fast jedes Boostingsystem in irgendeiner Form einen Einfluss auf die Strömungen im Glasbad ausübt.

Bei manchen Wannen kann der Strömungseinfluss des Boosters auch positive Auswirkungen auf die Effizienz der konventionellen Beheizung aufweisen, so dass die Effektivität der Fossilbeheizung steigt. Die dadurch gewonnene Steigerung der Schmelzleistung wird zwar dem Booster zugeschrieben, ist aber nur eine indirekte Folge des Einsatzes der elektrischen Beheizung. In solchen Fällen ist die „Superleistung“ des Boosters weniger als positive Eigenschaft der elektrischen Beheizung, aber eher als Beweis der schlechten Leistung der konventionellen Beheizung ohne elektrische Unterstützung zu bewerten.

2.2 Wie viel Booster darf's sein?

Die Frage stellt sich allerdings - wie viel zusätzliche elektrische Energie kann überhaupt in eine konventionelle Wanne eingespeist werden. Leider gibt es keine einfache Antwort auf die Frage. Theoretisch könnte man die gesamte, zur Glasschmelze benötigte Energie über die elektrische Beheizung eingeben und die fossile Beheizung lediglich zur Deckung der Wärmeverluste im Oberbau benutzen. Die daraus resultierende Wanne wäre dann als „Mixed Melter“ (gemischte Beheizung) zu bezeichnen.

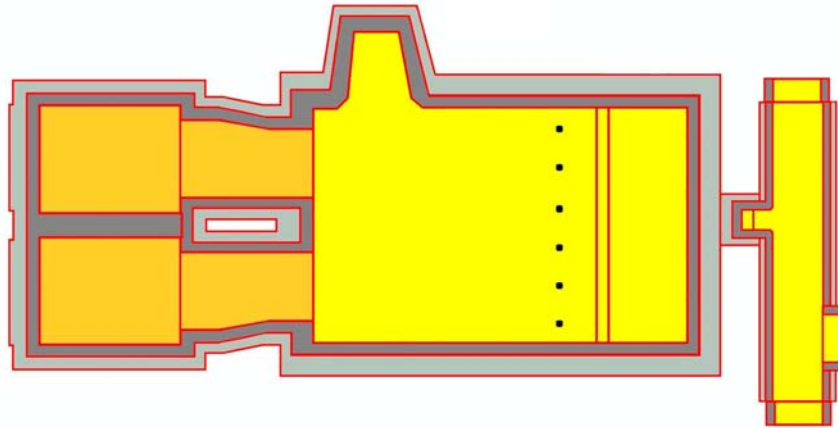


Bild 3: Typischer Barrierebooster.

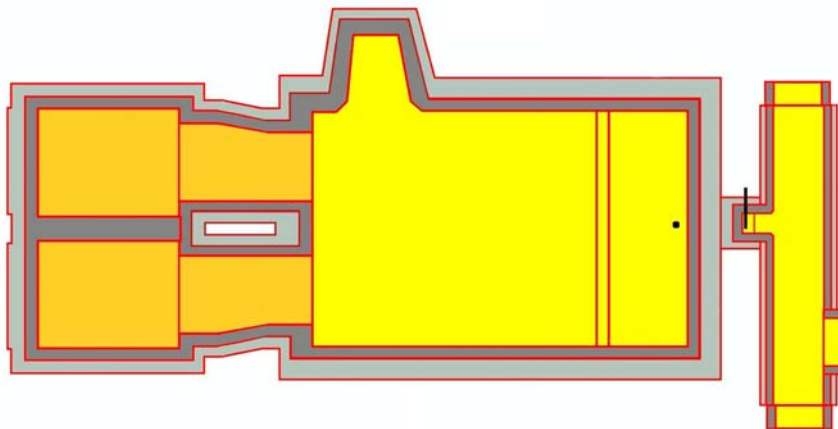


Bild 4: Typischer Durchlassbooster.

Von den ökonomischen Aspekten abgesehen, treten sicherlich auch technische Probleme auf, da die Form des Glasbads einer konventionellen Schmelzwanne für die Anwendung als „Mixed Melter“ mit einem hohen Anteil an elektrischer Energie völlig ungeeignet ist.

Um einer Antwort auf die Frage mindestens etwas näher zu kommen, müssen allerdings auch andere Faktoren mit einbezogen werden, insbesondere der Verschleiß des Feuerfestmaterials. Je mehr Glas in einem bestimmten Behälter geschmolzen werden soll, umso mehr Energie muss hineingegeben werden. Mehr Energie in einem bestimmten Volumen führt unweigerlich zu höheren Temperaturen, so dass der Verschleiß des Feuerfestmaterials beschleunigt und die Lebensdauer der Wanne verkürzt wird. Somit besteht ein Zusammenhang zwischen maximaler Schmelzleistung und Größe der Wanne – in der Praxis die Schmelzfläche.

Bei modernen Schmelzwannen für Kalk-Natron-Glas haben praktische Erfahrungen gezeigt, dass bei mittleren und größeren Wannen die spezifische Schmelzleistung auf Werte von ca. 4 Tonnen pro Tag pro m² Fläche mit einem Booster gesteigert werden kann. Es ist allerdings anzumerken, dass solche Leistungen nur unter bestimmten günstigen Bedingungen erreichbar sind. Bedingt durch die verhältnismäßig geringen Abmessungen ist die

Situation bei kleineren Wannen etwas begrenzter, so dass im Durchschnitt niedrigere spezifische Schmelzleistungen als bei großen Wannen erreicht werden.

2.3 Installierte Leistung / erreichbare Leistung

Manchmal treten Unterschiede zwischen installierter und erreichbarer Leistung bei Boostersystemen auf, die erklärungsbedürftig sind. Die elektrische Leitfähigkeit aller Gläser ist temperaturabhängig. Sie steigt bei steigender Temperatur und umgekehrt. Temperaturänderungen im Glasbad bewirken logischerweise Änderungen in dem elektrischen Widerstand des Glases.

Glastemperaturen können sich aus mehreren Gründen ändern, aber der häufigste Grund ist eine Änderung der Betriebsbedingungen. Stellen sich andere Glastemperaturen ein, ändert sich gleichzeitig der elektrische Widerstand und somit auch das Verhältnis zwischen Strom und Spannung. Ein Transformator kann nur für ein festes Verhältnis zwischen Strom und Spannung ausgelegt werden, so dass der Transformator genau nur für einen bestimmten Lastwiderstand passt. Fällt der Lastwiderstand aber anders aus (was in der Praxis als ziemlich sicher gilt), kann die Nennleistung des Transformators nicht erreicht werden. Entweder reicht die maximal verfügbare Spannung nicht aus, um die Leistung zu produzieren oder der maximale Strom fließt, bevor die maximale Leistung erreicht wird. Normalerweise wird Abhilfe durch die Erweiterung der eigentlichen Spezifikation des Transformators geschaffen, so dass der Transformator eine höhere Bauleistung als die Nennleistung aufweist. Eine derartige Leistungssteigerung des Transformators, auch wenn die Leistung selbst nicht genutzt werden kann, spiegelt sich auch im Preis des Transformators wider. In der Praxis muss die Bauleistung des Transformators erweitert werden. Aus ökonomischen und technischen Gründen kann sie aber nicht so weit ausgedehnt werden, dass die volle Nennleistung unter allen nur denkbaren Umständen erreicht werden kann.

Der Transformator und andere Bestandteile eines Boostingsystems verursachen auch einiges an Verlusten, die allerdings im oberen Leistungsbereich eines Systems kaum mehr als 5 % ausmachen dürften. Zusammenfassend, wenn die Systemverluste und die hier beschriebene Erweiterung der Bauleistung des Transformators berücksichtigt werden, stehen normalerweise bis zu etwa 20 % der Nennleistung des Transformators nicht unter allen Umständen zur Verfügung.

Angenommen, die Grundausslegung des Transformators stimmt, so gibt es trotzdem einige mögliche Gründe, warum der Unterschied zwischen erreichbarer und installierter Leistung groß sein kann:

- Eine oder mehrere Elektroden sind entweder extrem kurz oder eventuell abgebrochen; dadurch erhöht sich der Systemwiderstand,
- Eine Änderung der Glasfarbe, der Glaszusammensetzung oder sogar der Glasart wurde vorgenommen,
- Fehlerhafte elektrische Phasenverteilung oder
- Einsatz eines Transformators, der für eine andere Anwendung ausgelegt wurde.

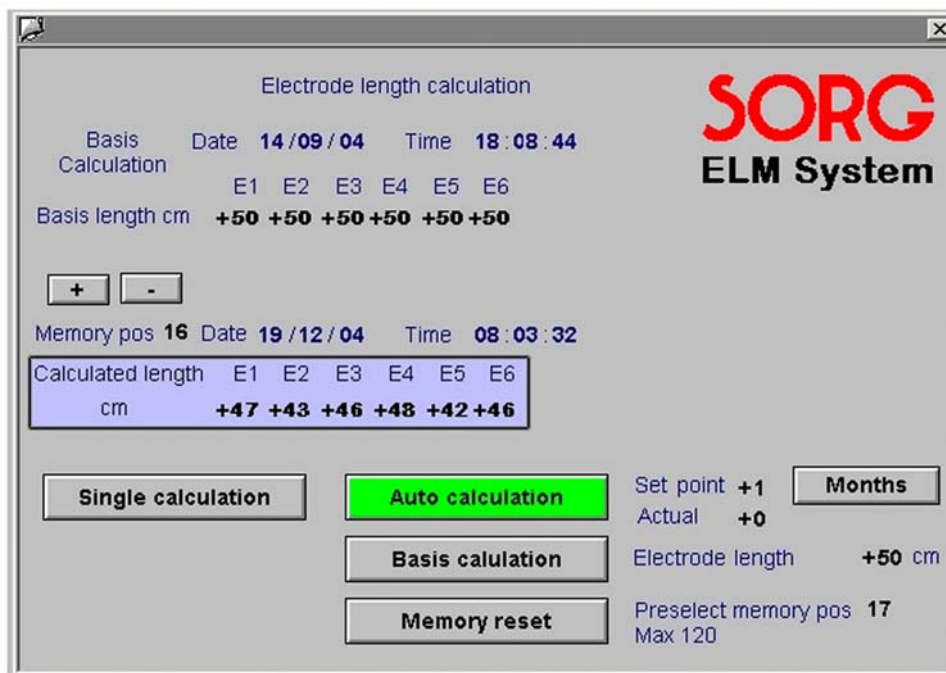


Bild 5: Typisches Ergebnisfenster des SORG[®] ELM-Systems.

3. Wartung

3.1 Elektrodenlänge

Anlagenteile, die direkt in oder an der Schmelzwanne installiert sind, sind besonders schweren Bedingungen ausgesetzt und bedürfen eines besonderen Überwachungs- bzw. Wartungsaufwandes. Dazu zählen auch Elektrodenhalter eines elektrischen Boosters. Die für die Einführung der Elektroden eingesetzten wassergekühlten Elektrodenhalter dienen dem Oxidationsschutz der Elektroden selber. Der Verschleiß des um die Elektrode herum befindlichen Feuerfestmaterials wird auch durch die Wasserkühlung der Elektrodenhalter verlangsamt. Die Wichtigkeit der Wasserkühlung wird allgemein anerkannt. Die Bedeutung des Zustandes der Elektroden selber wird jedoch oft unterschätzt. Der Betrieb eines Boosters mit kurzen Elektroden gefährdet sowohl den Elektrodenhalter als auch das Feuerfestmaterial in der Nähe des Halters. Es ist leider etwas schwierig, den genauen Zustand der Elektroden zu erfassen, da es keine direkte Messmethode gibt. Eine Analyse der typischen Betriebsdaten kann sehr gute Hinweise geben, aber Voraussetzung hierfür ist die Sammlung der entsprechenden Daten und die notwendige Erfahrung, um die Analyse durchzuführen.

Ein neues System – das SORG[®] ELM-System – wurde jetzt entwickelt, um dem Bedienungspersonal unmissverständliche Informationen über den genauen Zustand der Elektroden zu vermitteln. Beim ELM-System werden die Betriebsdaten analysiert und deren Ergebnisse mit einer auf einen bestimmten Elektrodenzustand bezogenen Referenzdatei verglichen. Das Ergebnis wird als eine Länge angezeigt, die die noch vorhandene Elektrodenlänge darstellt. Für jede einzelne Elektrode wird ein numerischer Wert auf dem Bildschirm des ELM-Systems angezeigt.

Das Bedienungspersonal kann den Elektrodenverschleiß verfolgen und die Nachschiebearbeit rechtzeitig planen, um Störungen des Ofenbetriebes auf ein Minimum zu begrenzen.

Der numerische Wert zeigt dem Betreiber auch deutlich, wie weit jede einzelne Elektrode nachgeschoben werden muss.

Trotz oberflächlicher ökonomischer Nachteile wird die elektrische Zusatzbeheizung auch heute häufig eingesetzt. Bei schwer schmelzbaren Sondergläsern, wie E-Glas und *Pyrex*[®] ist sie unerlässlich, aber auch bei Anlagen für Kalk-Natron-Glas werden Booster oft vorgesehen.