

Mathematische Modellierung - Ein Vergleich mit der Realität

Th. Breiffelder, M. Lindig, Nikolaus Sorg GmbH & Co. KG, Lohr am Main

1 Einleitung

Seit ca. 25 Jahren beschäftigen wir uns im Hause SORG[®] mit der physikalischen Modellierung von Schmelzwannen und Vorherden. Es wurden über 350 verschiedene Modelle gebaut, mit denen weit über 1000 Modellversuche gefahren wurden. Vor fünf Jahren entschließen wir uns zur Anschaffung eines mathematischen Modells. Seit dieser Zeit wurden ca. 35 verschiedene mathematische Modellierungen mit einer Vielzahl von Variationen durchgeführt.

Die mathematische Modellierung liefert zunächst eine Übersicht zur Temperaturverteilung im Glas sowie wahlweise im Oberofen. Als Ableitung aus der Temperaturverteilung und unter Berücksichtigung der Gemengeaufgabe und Glasentnahme wird ein Strömungsprofil berechnet.

Die Bewertung dieses Ergebnisses kann über eine Reihe von Kennzahlen vorgenommen werden. In das Modell können auch Partikel an beliebiger Stelle aufgegeben werden, die gemäß der Strömungscharakteristik der Schmelzanlage typische Pfade durchlaufen. Dieses Particle-Tracing führt zu Ergebnissen, die mit realen Tracerversuchen in der Wanne vergleichbar sind. Es ist naheliegend, daß sich diese Methode des Particle-Tracings anbietet, um die Ergebnisse der mathematischen Modellierung in der Realität zu verifizieren.

In diesem Vortrag werden zwei Beispielrechnungen angeführt, die typische Ausgangssituationen für die Anwendung der mathematischen Modellierung darstellen. Beide Rechnungen wurden mit Hilfe von real durchgeführten Tracerversuchen verifiziert.

Im ersten Fall wurden wir von dem Kunden gebeten, die Ergebnisse der Tracerversuche mit dem Modell zu verifizieren. Der Kunde betreibt einen SORG[®] LoNOx[®] Melter. Obwohl die Wanne eine hervorragende Gispfenqualität liefert, vermutete der Kunde wegen des etwas schlechteren Auflösungsvermögens von Steinchen eine kurze mittlere Verweilzeit des Glases in der Wanne.

Im zweiten Fall wurde die mathematische Modellierung bei der Neuentwicklung des SORG[®] Boro-Oxi-Melter[®] angewandt. Es galt im Vorfeld Aussagen über die Verweilzeit des Glases und das Mischerverhalten der zukünftigen Wanne zu treffen. Die Tracerversuche zur Verifizierung der Modellergebnisse wurden etwa 1 ½ Jahre nach der Inbetriebnahme durchgeführt.

2 LoNOx[®] Melter

Wie bekannt, handelt es sich bei dem LoNOx[®] Melter um den von SORG[®] entwickelten Typ einer Rekuperatorwanne mit Scherbenvorwärmung, der in diesem Fall eine Schmelzfläche von ca. 190 m² und eine Schmelzbelastung von 350 t/d Grünglas aufwies. Im Läuterbereich der Wanne ist eine sogenannte Läuterbank mit einer Glasbadtiefe von 400 mm eingebaut. Vor der Läuterbank ist eine Reihe von Bublern installiert.

In der mathematische Modellierung konnte in guter Übereinstimmung die Gemengelage sowie das gesamte Temperaturprofil der realen Wanne nachgebildet werden.

Bei dem Tracerversuch wurde jede Einlegemaschine mit einem anderen Oxid dotiert und die entsprechenden Konzentrationen in regelmäßigen Abständen gemessen. Es zeigte sich, daß - bis auf den Barium- und den Zinktracer - alle übrigen wegen ihrer geringen Konzentration in der Analyse nur wenig über das Grundrauschen hinaus meßbar waren. Untypisch daher auch der Verlauf der Tracersignale nach Überschreitung des Maximums.

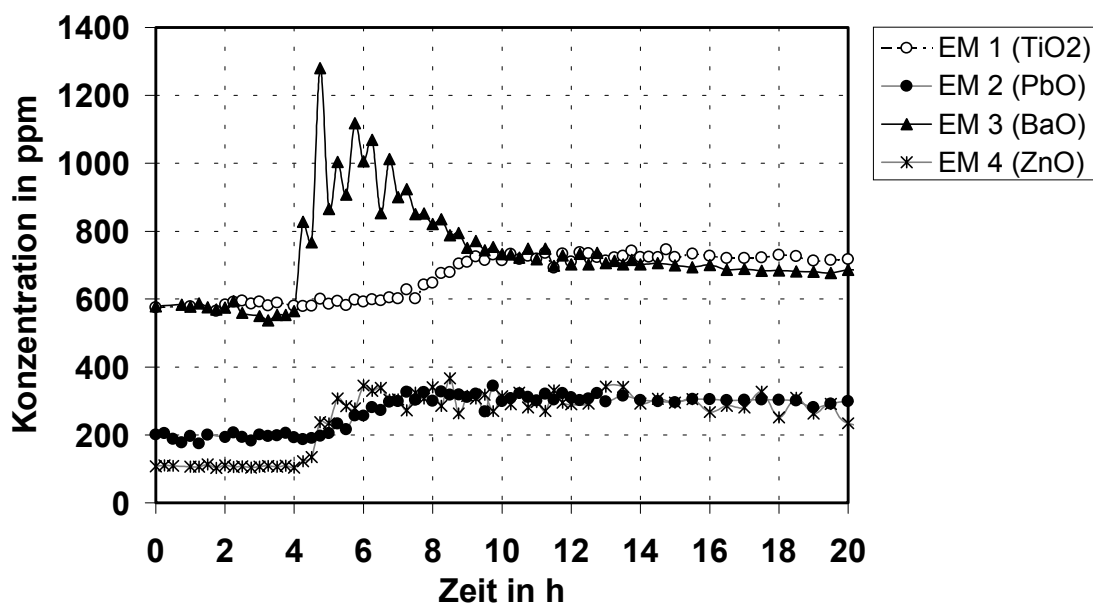


Bild 1: Tracerversuch LoNOx[®] Melter

Der Tracerversuch wurde in der mathematischen Modellierung mit dem Particle-Tracing nachvollzogen. Der Vergleich der minimalen Verweilzeiten für die Tracer von allen Einlegemaschinen (EM 1-4) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

	Min.Verweilzeit im Modell	Min. Verweilzeit im Tracerversuch
Einlegemaschine 1	6,3h	6,0h
Einlegemaschine 2	5,7h	5,5h
Einlegemaschine 3	4,6h	4,2h
Einlegemaschine 4	4,8h	4,5h

Ein Vergleich des Tracerverlaufs von Modell und Realität für den Bariumoxid-Tracer ist in der folgenden Darstellung wiedergegeben.

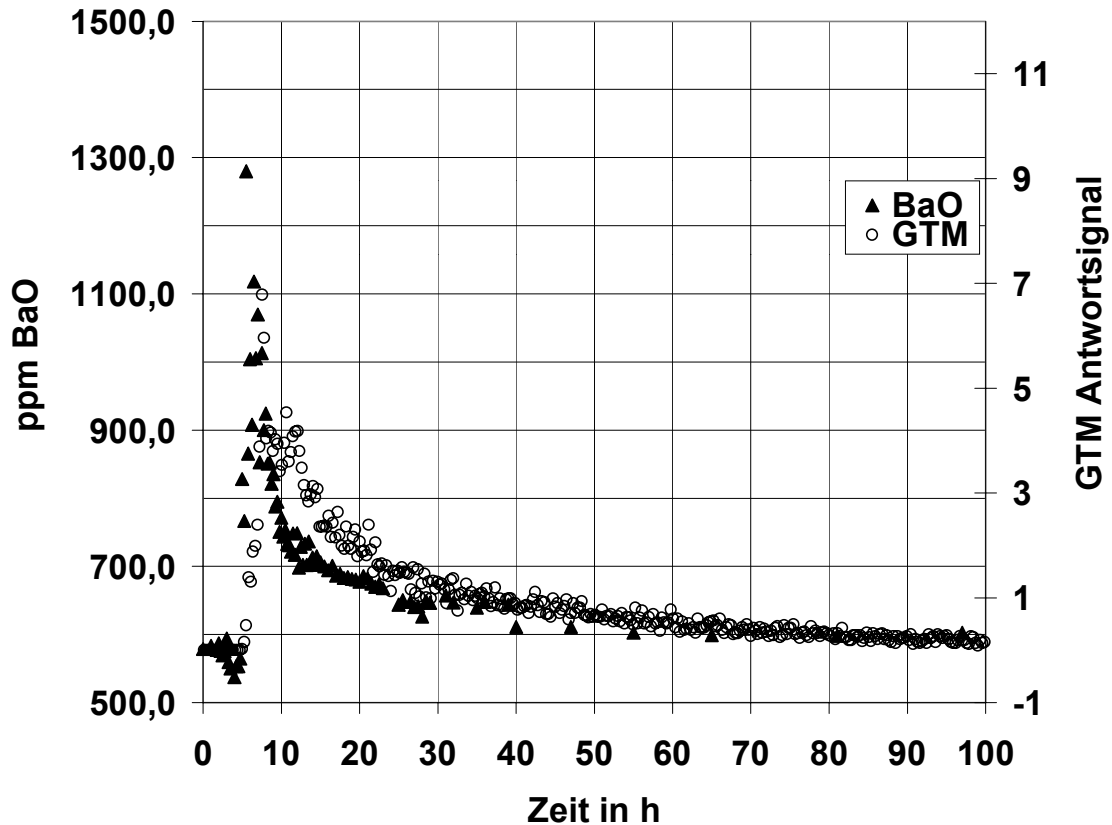


Bild 2: LoNOx[®] Melter - Vergleich Particle-Tracing und Tracerversuch

Versuch und Modell zeigten übereinstimmend eine vergleichsweise kurze Verweilzeit und ein Mischerverhalten, daß mit einem einfachen Mischermodeill mit „Plugflow“ angepaßt werden kann. Die Einseitigkeit der Wanne erklärt sich dadurch, daß bereits in der Gemengeaufgabe prozentuale Unterschiede zwischen den rechten und linken Einlegetaschen bestehen.

3 Boro-Oxi-Melter[®]

Bei dem Boro-Oxi-Melter[®] handelt es sich ebenfalls um eine von SORG[®] entwickelte Schmelzanlage und zwar speziell zum Schmelzen von harten Borosilikatgläsern (Typ Pyrex[®] und Neutralglas). Die Wanne hat eine Schmelzfläche von 59 m² und eine Schmelzleistung von 64 t/d.

Im Einschmelzbereich wird über Bodenelektroden intensiv zugeheizt. Vor der Läuterbank ist eine Reihe von Bublern installiert. Die elektrische Beheizung vor dem Durchlaß ist optional. Auch in diesem Fall konnten die berechneten Temperaturprofile in der Wanne und die Gemengelage in dem späteren Betrieb bestätigt werden.

Der Tracerversuch wurde etwas abweichend von der üblichen Praxis durchgeführt. Das Tracergemenge wurde über 100 Stunden aufgegeben. Im Prinzip ist der Vorgang mit einem Umschmelzen vergleichbar. Nach 100 Stunden wurde der Tracer wieder aus der Gemengezusammensetzung herausgenommen. Daraufhin war ein typischer Abfall des Tracersignals meßbar, was aber an dieser Stelle nicht weiter bewertet wird.

Bekanntermaßen kann die Summenkurve eines Tracerversuchs herangezogen werden, um eine Aussage darüber zu machen, wann in einer Schmelzanlage - in Abhängigkeit von der Belastung - ein Umschmelzvorgang abgeschlossen sein wird. In diesem Fall wurde daher das reale Tracersignal mit der Summenkurve verglichen, die man aus dem Particle-Tracing errechnet. Das Ergebnis des Vergleiches ist in der folgenden Darstellung zu erkennen.

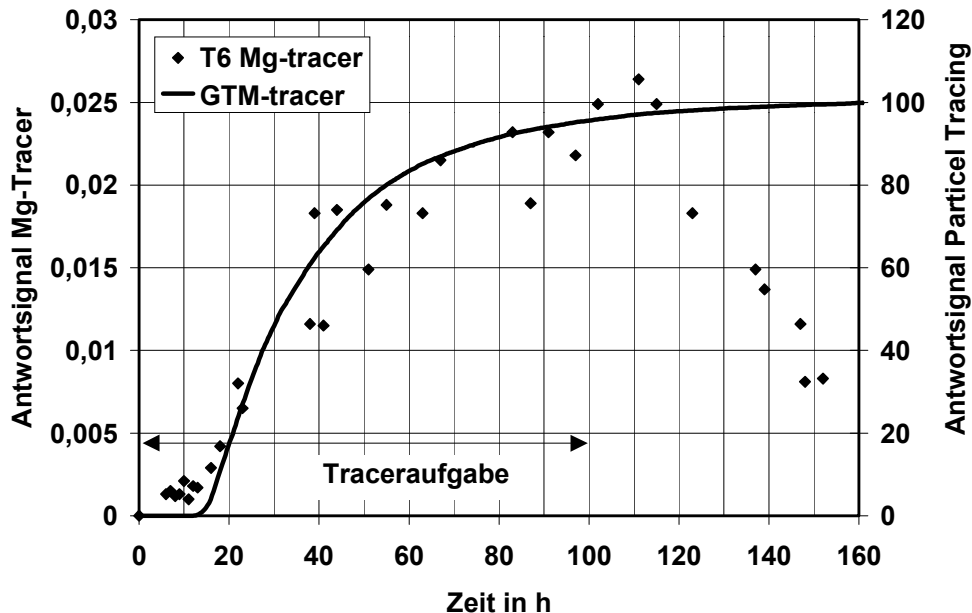


Bild 3: Boro-Oxi-Melter® - Ergebnisse des Tracerversuchs und Modell

Die minimale Verweilzeit des Tracers wurde im Modell mit ca. 11 Stunden ermittelt. Das Ergebnis wurde durch den realen Tracer bestätigt. Die Tracerkurve aus dem realen Test konnte näherungsweise an ein Strömungsmodell von 2 Mischern (mit Totzeit) angepaßt werden.

4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieses Vergleichs zeigen, daß mit der mathematischen Modellierung eine sehr gute Möglichkeit zur Verfügung steht, um sowohl Neuentwicklungen als auch bestehende Wannen eingehend untersuchen und optimieren zu können.

Eine Verifizierung der Ergebnisse aus Modellrechnungen sollte mit realen Tracerversuchen in der Regel erfolgen.

In diesem Fall konnte nachgewiesen werden, daß trotz der geringen minimalen Verweilzeit mit der Läuterbank im LoNOx® Melter eine sehr gute Glasqualität hinsichtlich Gipsen und Blasen erreicht werden kann, dennoch besteht bezüglich der Steinchenauflösung noch ein Optimierungspotential. An der Weiterentwicklung des LoNOx® Melters wird zur Zeit gearbeitet. Im Falle des Boro-Oxi-Melter® war eine Auslegung erfolgt, die sich in der Praxis als erfolgreich herausgestellt hat.