

Otto-Schott-Forschungspreis

# Simulation optimiert Glasschmelzprozesse

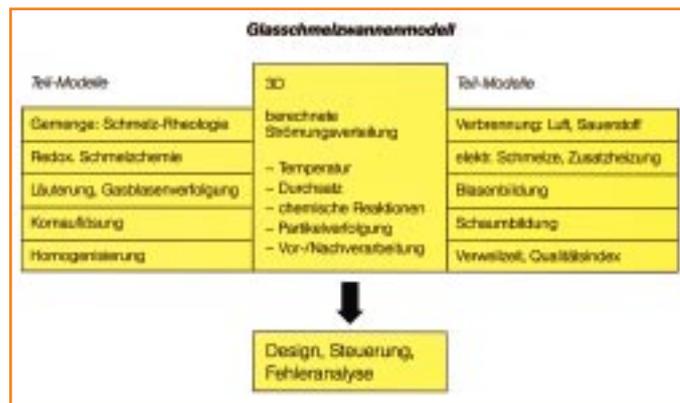
Ruud Beerkens, Anne-Jans Faber, Erik Muysenberg, Frank Simonis

Sowohl die Glasqualität als auch der Produktionsausstoß müssen gesteigert werden, während gleichzeitig der Energieverbrauch und der Emissionsausstoß gesenkt und der Anteil an recyceltem Glas erhöht werden müssen.

Bei der Betrachtung der technischen Entwicklungen der vergangenen zehn Jahre wird deutlich, daß die Glasindustrie neue Technologien nutzt, um Produktion und Produkte zu optimieren. Ein herausragendes Beispiel dafür ist die Anwendung numerischer Simulationswerkzeuge für Abläufe und Steuerung der Glasschmelzverfahren

Die Autoren dieses Artikels sind Wissenschaftler am Institute of Applied Physics Glass Technology, Eindhoven/Niederlande, und gehören zum Kern des TNO-Glastechnologie-Forschungsteams, das 1983 gegründet wurde. Für ihre Arbeiten auf diesem Gebiet erhielten die Autoren den Otto-Schott-Forschungspreis.

und für das Design und die Leistung von Glasprodukten. Diese Simulationsmodelle haben zwischenzeitlich einen solchen Grad an Zuverlässigkeit und Anwendbarkeit erreicht, daß die Vorhersage von Glasqualität, Glasschmelzwannenleistung und Produktverhalten möglich sind.



## Modellierung des Glasschmelzverfahrens

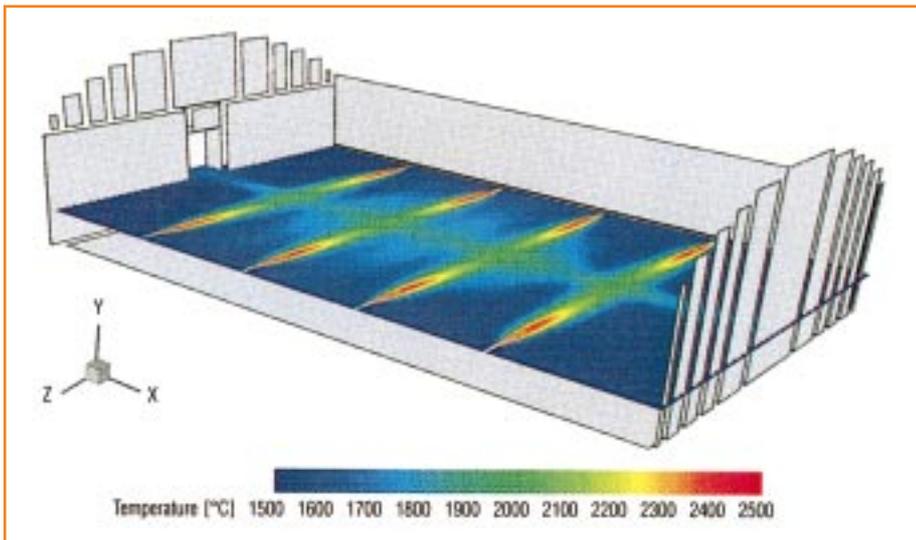
Vor circa 15 Jahren begann das TNO-Forschungsteam für Glastechnologie (TNO-TPD) mit seinen Modellversuchen auf dem Gebiet der Glasschmelztechnik. Für eine Glasschmelzwanne, die eigentlich ein chemischer Reaktor mit vielen komplexen Teilverfahren ist, wird – für eine adäquate Verfahrensbeschreibung – eine vollständige Synthese aller schmelzbezogenen Teilverfahren benötigt. Mit Unterstützung nationaler und internationaler Glashersteller hat TNO-TPD seither mehr als 80 Mannjahre sowohl für die mathematische Modellierung des Schmelzverfahrens als auch für die fundamentale experimentelle Forschung in der Glasschmelz-Chemie aufgewendet. Dies hat zu einem Glasschmelzwannenmodell geführt, bei dem die spezifischen glasschmelzbezogenen Verfahrensmodelle durch die Verbindung der Teilmodelle vollständig gekoppelt wurden.

Eine Standard-3D-Berechnung der Strömungsverteilung für den modellierten Durchsatz und Temperaturen in dem Schmelz- und Verbrennungsraum ist fundamental, aber nicht ausreichend, um die Auswirkungen auf die Glasqualität und Wannenleistung zu bewerten. Daher konzentrierte sich die

TNO-TPD-Gruppe mehr und mehr auf das Modellieren der spezifischen glasschmelzbezogenen Chemie und Physik, was zu Teilmodellen, z. B. für Redox, Läuterung, Partikelauflösung, Homogenisierung, Verdampfung, Chargenschmelze, Glasfchlerrückverfolgung, usw. geführt hat. Wichtige Aspekte sind Modellbestätigung auf Labor- und Fertigungsebene sowie die Messung der erforderlichen Eingangsdaten und die chemischen und physikalischen Konstanten, wie zum Beispiel Diffusionskoeffizienten, chemische Gleichgewichte und Auflösungen.

## Output des Glasschmelzwannenmodellierens

Glasschmelzwannenmodellierung hat sich als ein wichtiges Optimierungswerkzeug erwiesen. Es wird heutzutage von Forschungs- und Entwicklungsexperten und auch dem Bedienungspersonal von Schmelzwannen in den Betrieben genutzt. Das Glasschmelzwannenmodell von TNO kann Optimierungsstudien in mehr als 70 industriellen Glasschmelzwannen von Behälter-, Flach- und Fernsehglas bis



Beispiele für die mathematische Simulation von Glasschmelzprozessen (3D)

Bilder: Autoren

hin zu Glasfaserwannen verzeichnen. Unterschiedliche Verbrennungssysteme, Gas- oder Öl-, Luft- oder Sauerstoffbefeuerung mit End- oder Seitenbefeuerung können damit bearbeitet werden. Optimierungskriterien sind in der Regel

1. Glasqualität gegenüber Durchsatz
2. Verfahrensstabilität, Flexibilität und Wirkungsgrad
3. Temperaturlastbeständigkeit
4. Schnelle Produktwechsel
5. Reduzierung des Energieverbrauchs und der Emissionen.

Sowohl stationäre als auch Übergangssituationen werden berücksichtigt. Der Output des Glasschmelzwannenmodellierens besteht normalerweise aus einem Satz optimaler Charakteristiken oder besten Szenarien, verbessertem Wannendesign, Brennersystem, Bedienungseinstellungen (z. B. Wärmeverteilung, Durchsatz, Zusatzbeheizung und Blasdüsenlage, Läutermittel), Positionierung der Sensoren, Artikelwechselstrategie oder den möglichen Ursachen von Glasfehlern.

#### Einschränkungen in der Anwendung

Obwohl einige Modelle der Realität sehr nahe kommen, sind sie doch nach ihrer Definition vereinfachte Be-

schreibungen der Realität. Eine Bestätigung ihrer „Fähigkeit zur Anwendung“ wird oft vorgezogen, bevor man mit den Optimierungsläufen beginnt. Dies kann zum Beispiel geschehen, indem Simulationen von Basisfällen mit dem aktuellen Glasschmelzwannenbetrieb verglichen werden. Verfahrensdaten wie z. B. unterste bzw. Spitzentemperaturen und Verweilzeitverteilungen vom existierenden Schmelzbetrieb sind natürlich unverzichtbar. Solche Daten sind oft nicht präzise genug oder erscheinen unzuverlässig. Auf der anderen Seite sind auch einige der erforderlichen Eingaben für die Modelle nicht sehr gut bekannt, außer den experimentellen Daten im Labor: es besteht ein ständiger Bedarf an genauen Messungen der Glasschmelzdaten.

#### Trends und zukünftige Entwicklungen

Mit zunehmender Computergeschwindigkeit, die sich alle 1,5 Jahre verdoppelt, erhöht sich simultan die Anzahl der Gitterpunkte: vor zehn Jahren wurde eine typische Schmelzsimulation mit 10 000 Gitterpunkten durchgeführt. Heute werden 300 000 bis 400 000 Gitterpunkte mit größerer Genauigkeit und mehr Details benutzt, gekoppelt mit Verbrennungs-Schmelzberechnungen oder mit Schmelz-/Arbeitswannenspeisersimulationen. An Stelle von Zentralcomputern kommen Terminals oder leistungsfähige PCs zum Einsatz. Innerhalb der nächsten

Jahre werden vollständige 3D-Simulationsmodelle schnell genug laufen, um sie auf Basis der Modellrechnung zur Steuerung der Glasschmelzwannen einzusetzen. Eine Kopplung dieser Modelle mit Steuerungssystemen ist ein Gebiet, auf dem TNO gegenwärtig aktiv ist. Ständige modellorientierte Analyse des laufenden Schmelzvorgangs durch Vergleich der Verfahrensausgangsdaten mit einer virtuellen Modellumgebung wird zur intelligenteren Überwachung und Steuerung des Verfahrens führen. Darüber hinaus wird der Simulationscode noch weiter entwickelt. Spezielle Teilmodelle werden weiter verfeinert wie z. B. Gemenmodellierung, Schaumbildung und Destabilisierung sowie Glashomogenität. Auch auf dem Sektor von Glasfehlern wird eine Kopplung zwischen Glasfehleranalyse und Glasschmelzmodellierung entwickelt, um ein verbessertes System der Ursachanalyse für Glasfehler zusammen mit Korrekturmaßnahmen zu erreichen.

#### Nebenprodukt: Datenbank für Schmelztechnik

Der Erfolg des Glasschmelzmodells ist von der Qualität der spezifischen Glasschmelz-Teilmodelle, die die Charakteristiken des Glasschmelzphänomens beschreiben, stark abhängig. Diese Teilmodelle bestimmen, wie genau das tatsächliche Verfahren vorausgesagt werden kann. Die Beurteilung bestehenden Schmelz-Know-hows zusammen mit zusätzlicher Grundlagenforschung auf diesen Gebieten hat zur verbesserten Beschreibung aller schmelzbezogenen Phänomene geführt. Diese Beschreibung wird aktualisiert und strukturiert, um sie in die virtuelle Umwelt des Schmelzmodells einzugliedern.

Das Modell selbst ist zur Datenbank geworden, in der die neuesten Entwicklungen und Einsichten in die Schmelztechnik gespeichert sind. Es spielt daher auch eine Rolle in der Praxis zur Aktualisierung des Schmelz-Know-hows für alle internen und externen Anwender des Modells. □