

An der Schwelle zum **dritten Jahrtausend**

Anlässlich des 150. Geburtstages seines Firmengründers **Otto Schott (1851 – 1935)** veranstaltete der **Techniekonzern Schott** im **Dezember 2001** ein **glaswissenschaftliches Kolloquium** an der **Friedrich-Schiller-Universität Jena**.

Zu Ehren des Begründers der modernen Glaswissenschaft und Glastechnologie referierten neun namhafte Wissenschaftler aus USA, Japan und Europa unter dem Motto „Glaswissenschaft und Glastechnologie an der Schwelle zum dritten Jahrtausend“ über aktuelle Forschungsergebnisse.

Folgende Wissenschaftler stellten Ergebnisse Ihrer Forschungsarbeiten vor:

Prof. Dr. Denise Krol, University of California, USA, eine der weltweit führenden Wissenschaftlerinnen in der Entwicklung von planaren Wellenleitern;

Prof. Dr. Kazuyuki Hirao, Universität Kyoto, Japan, der Erfinder und Experte für die Strukturierung von Glas mit dem femto-Sekunden-Laser;

Prof. Dr. Setsuhisa Tanabe, Universität Kyoto, Japan, ausgewiesener Experte im Design optischer Verstärker, die mit Seltenen Erden dotiert sind;

Prof. Dr. Ruud Beerkens, Universität Eindhoven, Niederlande, dem 1997 für seine Forschungen über die Modellierung von Glas-Schmelzwannen der Otto-Schott-Forschungspreis verliehen wurde;

Prof. Dr. Christian Rüssel, Leiter des Otto-Schott-Instituts für Glaschemie an der Universität Jena, der weltweit führende Entwickler von elektrochemischen Methoden zur Charakterisierung von Glasschmelzen;

Prof. Dr. Reinhard Conradt, Technische Hochschule Aachen, Otto-Schott-Preisträger dieses Jahres für die Berechnung von physikalischen und chemischen Eigenschaften aus thermodynamischen Daten;

Dr. Ulrich Fotheringham, Mainz, ein renommierter Schott-Wissenschaftler und mehrfacher Preisträger des internen Forschungspreises;

Prof. Dr. Hideo Hosono, Tokyo Institute of Technology, Japan, dem 1991 der Otto-Schott-Forschungspreis verliehen wurde für seine Untersuchungen zur Wechselwirkung von Strahlung und Glas;

Prof. Dr. Georg Müller, Universität Erlangen-Nürnberg, der weltweit große Anerkennung genießt für seine Entwicklungen zur Computer-Modellierung von Kristallwachstumsprozessen.

Auf den nun folgenden Seiten 7 bis 14 werden einige der Themen der Referenten des Kolloquiums auf populärwissenschaftliche Weise dargestellt. ◀

Klaus Jopp
Wissenschafts-
journalist
Hamburg

Schmelzprozesse optimieren

Die Vorgänge in der Glasschmelze sind **außerordentlich komplex**. **Computer-Modelle** und **-Simulationen** sowie **neue Messsonden** sollen helfen, die **Zusammenhänge besser zu verstehen** und die **Glasproduktion kontinuierlich zu verbessern**.

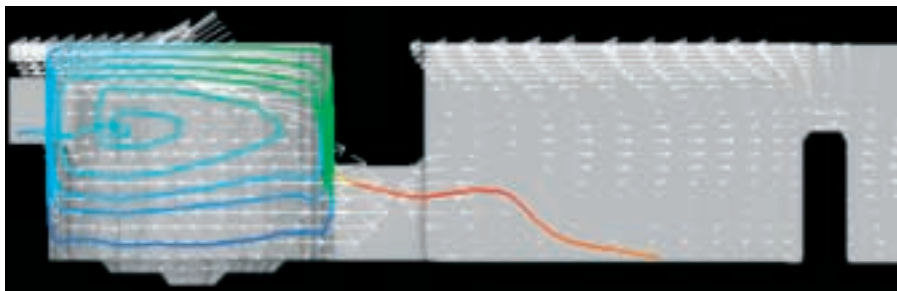
▶ Glas ist neben seinen natürlichen Vorkommen vor allem ein von Menschenhand künstlich geschaffener Werkstoff, der seit mehr als fünf Jahrtausenden ununterbrochen in Gebrauch steht. Zwar hat das mal undurchsichtige, mal transparente Material keiner Epoche der Weltgeschichte seinen Namen gegeben, aber Glas hat aus seinen Anfängen über Handwerk und Manufaktur den Weg in die industrielle Fertigung geschafft. Darüber hinaus gehört es in vielen Anwendungen sogar in den Hightech-Bereich.

Wenn Menschen sich so lange Zeit und derart intensiv mit einem, wenn auch besonderen Stoff beschäftigen, sollte man meinen, sie wüssten alles über ihn und seine Herstellung. Doch weit gefehlt – viele Fragen werden erst heute überhaupt gestellt, ihre Antworten sind nur mit neuesten Mess- und Rechenverfahren möglich. Das bewies nachdrücklich ein internationales wissenschaftliches Symposium mit dem Titel „Glaswissenschaft und -technologie auf der Schwelle zum 3. Jahrtausend“, das in Erinnerung an Otto Schotts 150. Geburtstag in Jena durchgeführt wurde. Der Wissenschaftler gilt als Gründer der modernen, wissenschaftlich basierten Glastechnologie.

Rückverfolgung eines im Enderzeugnis vorgefundenen Wannensteins. Mit Hilfe des Backtracking-Verfahrens kann der Ursprung eines Glasfehlers exakt geortet werden.

Simulationen als unverzichtbares Werkzeug

Ständig steigende Qualitätsanforderungen und immer strengere -auflagen stellen die Glasproduzenten vor schwierige Aufgaben. Sie müssen die vom Markt verlangten hochwertigen Gläser mit vertretbarem Kostenaufwand herstellen. Moderne Technologien und innovative Methoden helfen dabei, diese Herausforderung zu meistern. Bis in jüngste Zeit stützte sich die Glasproduktion, vom Design des Schmelzofens bis zum täglichen Prozessbetrieb, weitgehend auf traditionelle Methoden und Erfahrungswerte. Wichtige Daten und Informationen über den Schmelzprozess – zum Beispiel die Temperaturen und die Entwicklung der Glasschmelze in der Wanne – sind mit herkömmlichen experimentellen Verfahren jedoch kaum zu gewinnen. Einen Ausweg bieten sogenannte CFD-Modelle, wobei CFD für Computational Fluid Dynamics steht. „Mit diesen mathematischen Simulationen kann man das Geschehen in industriellen Schmelzöfen vorhersagen. So lassen sich u. a. die in der Wanne herrschenden Temperaturen, Strömungsformen und der Wärmeübergang aus den Flammen in die Schmelze ziemlich genau berechnen“, erklärt **Prof. Ruud G.C. Beerkens** vom **Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Chemie der Technischen Universität Eindhoven** (Niederlande), Fachmann für Modellierung von Glasschmelzprozessen.



Ursprüngliche Position/Quelle



Die CFD-Methodik ist insbesondere wichtig, um die wahrscheinlichen Auswirkungen der Ofenkonstruktion und der Einstellungen des Schmelzofens, wie Gemengezusammensetzung, Energiezufuhr und -verteilung sowie Durchsatz, auf die Qualität der Glasschmelze zu ergründen. „Es ist wichtig, ein optimales Ofendesign zu entwickeln und beste Prozessbedingungen zu schaffen, um schwere Verunreinigungen der Glasschmelze durch Korrosionsprodukte von Feuerfestmaterialien oder durch den Einschluss einer abweichenden Glaszusammensetzung aus der oberen Schicht der Schmelze zu verhindern“, so Experte Beerens. Erschwert wird die Herstellung einer

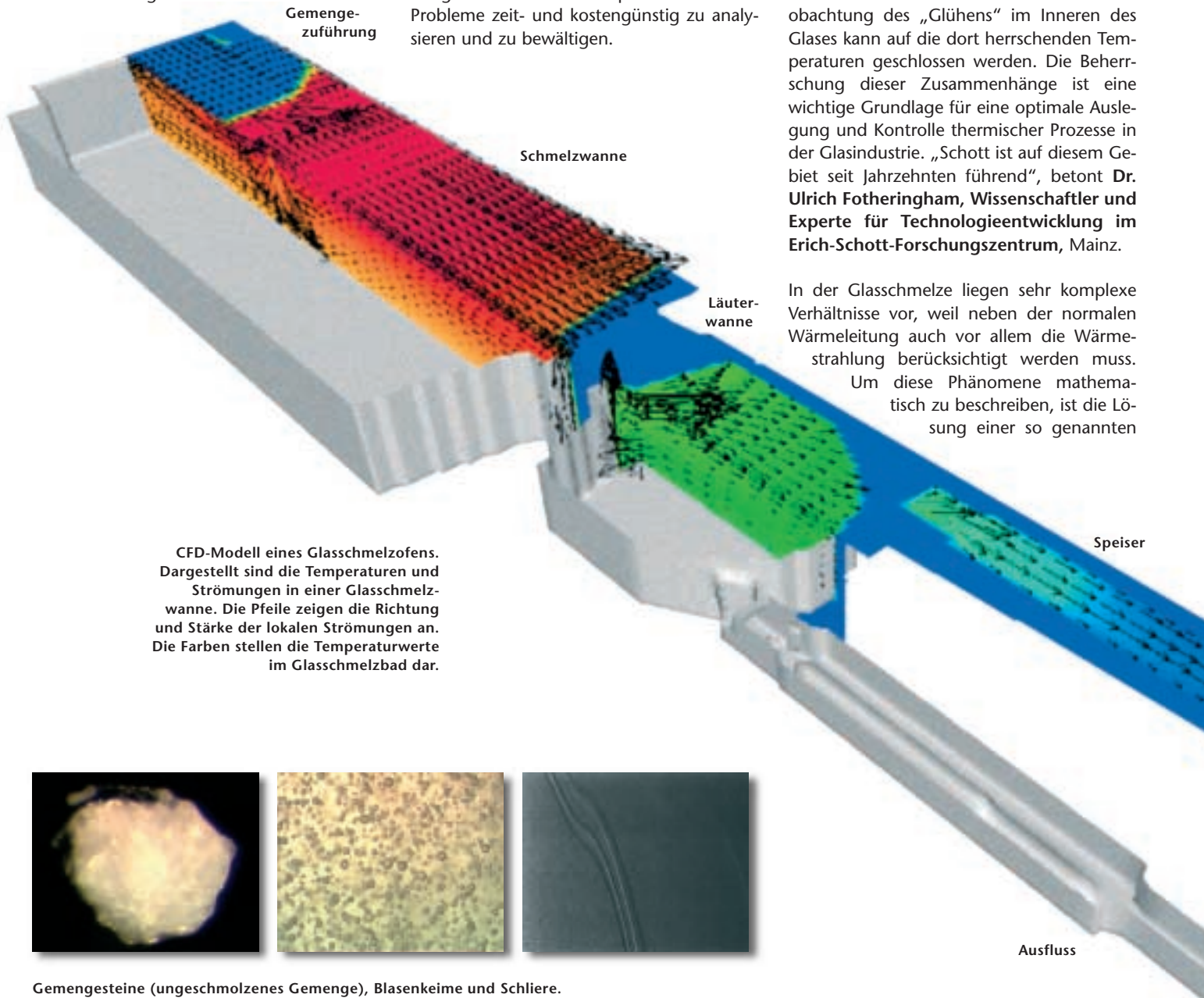
optimalen Schmelze dadurch, dass die meisten für den Ablauf der Schmelz-, Läuter- und Homogenisierungsprozesse günstigen Bedingungen unerwünschte Nebenwirkungen haben. So regen hohe Temperaturen und starkes Mischen den Schmelz- und Homogenisierungsvorgang an, bewirken aber gleichzeitig eine Abnutzung der feuerfesten Wände und leisten damit einer Verunreinigung der Schmelze durch Korrosionsprodukte Vorschub. Um so wichtiger sind CFD-Modellierungen, mit denen man die gegenläufigen Effekte abschätzen kann. Insgesamt sind sie ein inzwischen unverzichtbares Werkzeug, um ein geeignetes Ofendesign zu entwickeln und prozesstechnische Probleme zeit- und kostengünstig zu analysieren und zu bewältigen.

Fortschritte bei Berechnung von Wärmeströmen

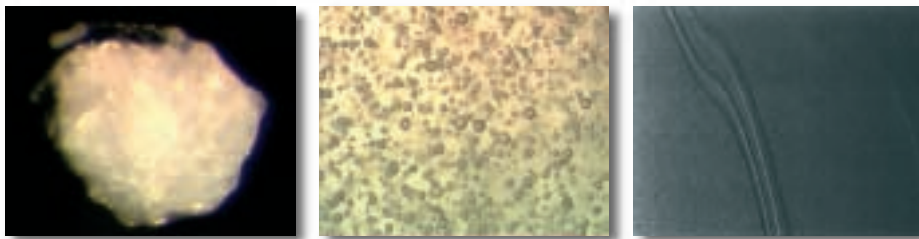
Um geeignete mathematisch-physikalische Modelle geht es auch bei der quantitativen Berechnung von Wärmeströmen und Temperaturfeldern in Glasschmelzen aus den gegebenen Materialeigenschaften und Messdaten. Glas ist häufig ein halbtransparentes Material, das heißt, der größte Teil der elektromagnetischen Strahlung wird allmählich, über das ganze Volumen verteilt, absorbiert. Anders ausgedrückt: Wärmestrahlung kann tief ins Glasinnere vordringen und sich dort über eine Kette von wechselnder Absorption und Emission weiter ausbreiten. Aus der Beobachtung des „Glühens“ im Inneren des Glases kann auf die dort herrschenden Temperaturen geschlossen werden. Die Beherrschung dieser Zusammenhänge ist eine wichtige Grundlage für eine optimale Auslegung und Kontrolle thermischer Prozesse in der Glasindustrie. „Schott ist auf diesem Gebiet seit Jahrzehnten führend“, betont **Dr. Ulrich Fotheringham, Wissenschaftler und Experte für Technologieentwicklung im Erich-Schott-Forschungszentrum, Mainz.**

In der Glasschmelze liegen sehr komplexe Verhältnisse vor, weil neben der normalen Wärmeleitung auch vor allem die Wärmestrahlung berücksichtigt werden muss.

Um diese Phänomene mathematisch zu beschreiben, ist die Lösung einer so genannten



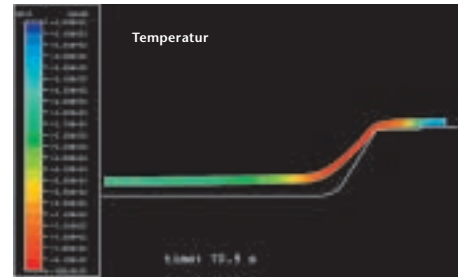
CFD-Modell eines Glasschmelzofens. Dargestellt sind die Temperaturen und Strömungen in einer Glasschmelzwanne. Die Pfeile zeigen die Richtung und Stärke der lokalen Strömungen an. Die Farben stellen die Temperaturwerte im Glasschmelzbad dar.



Gemengesteine (ungeschmolzenes Gemenge), Blasenkeime und Schliere. Einige typische Glasfehler, verursacht durch unvollständiges Schmelzen, unvollständiges Läutern und unzureichende Homogenisierung (von links nach rechts).

Integro-Differentialgleichung erforderlich – doch selbst bei den heutigen Computerleistungen ist diese bisher für Geometrien, wie sie bei der Heißformgebung von Glas auftreten, praktisch nicht vollständig durchführbar. Aus diesem Grund ist die Geschichte der mathematisch-physikalischen Beschreibung des Wärmetransports durch Strahlung in heißem Glas eine fortschreitende Entwicklung immer besserer Näherungsverfahren, an denen Schott Glas großen Anteil hatte.

Ein wichtiger Aspekt der Produktherstellung mittels thermischer Prozesse in der Glasindustrie sind die auftretenden intermediären und permanenten mechanischen Spannungen. Diese können entweder ungewollt – wie bei optischem Glas – oder gewollt sein, zum Beispiel bei vorgespanntem „Duran“ Borosilicatglas. Maßgeblich für diese Spannung sind Temperaturgradienten im Inneren des Glases, die während des Prozesses auftreten. Ist man in der Lage, diese Gradienten in Abhängigkeit von der Prozessführung zu berechnen, kann man diese am Computer optimieren. Auf diese Weise gelingt es, beispielsweise Glasplatten mit der notwendigen Vorspannung zu erzeugen, indem sie zunächst deutlich über die Glasübergangstemperatur aufgeheizt und anschließend massiv gekühlt werden. Durch geeignet gewählte Heizquellen lässt sich die Wärmestrahlung aber auch gezielt für einen äußerst effektiven Wärmetransport und so für eine sehr schnelle Heißformgebung, wie etwa bei der Fertigung von Backschalen, nutzen.

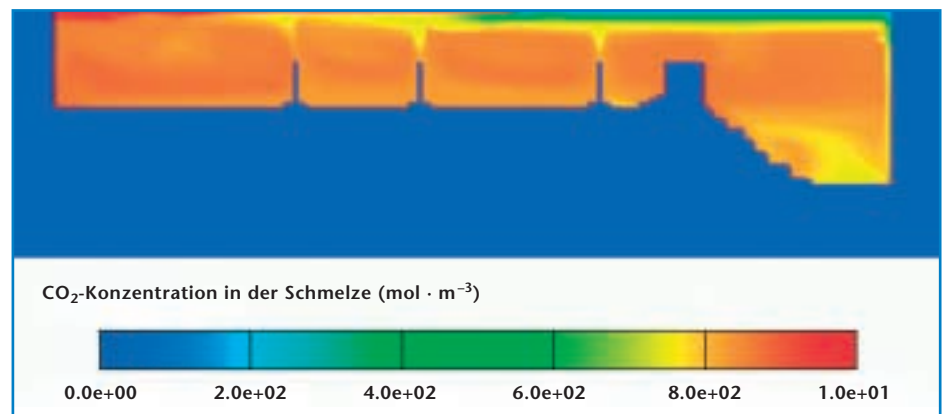


Mit Hilfe einer guten Näherung für den Wärmetransport durch Strahlung gelingt eine zeitlich und geometrisch genaue Simulation der schnellen Heißformgebung.

Messsonden für Glasschmelze

Die Computer-Modellierung von Glasschmelzen ist ein Weg, das komplexe Geschehen in der Wanne besser zu verstehen. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist die Gewinnung von Messdaten direkt aus der Schmelze. Im vergangenen Jahrzehnt wurden die Läuterreaktionen – darunter versteht man die Beseitigung von gelösten Gasen und Gasblasen – insbesondere durch elektrochemische Verfahren, vor allem mit

Dennoch: Im Gegensatz zu anderen Industrieproduktionen ist der Einsatz von Überwachungs- und Regelungstechnik beim Glasschmelzen noch wenig üblich. „Das liegt insbesondere am Fehlen geeigneter Sensoren“, weiß Prof. Rüssel. Derzeit werden nahezu ausschließlich Thermoelemente zur Temperaturkontrolle und Abgassensoren eingesetzt. Gefragt sind drei weitere Typen zur Messung der Sauerstoffaktivität (Sauerstoff entsteht als Reaktionsprodukt bei einer ganzen Reihe von Läuterungsadditiven),



Berechnete Verteilung von gelöstem CO₂ in einer Schmelzwanne (Konzentrationskonturen im senkrechten Querschnitt einer Schmelzwanne).

Rechteckwellen-Voltammetrie, untersucht. „Hierbei werden die Messungen direkt in der Glasschmelze bei hohen Temperaturen durchgeführt“, erläutert Prof. Christian Rüssel, Leiter des Otto-Schott-Instituts für Glaschemie in Jena, der weltweit führende Entwickler von elektrochemischen Methoden zur Charakterisierung von Glasschmelzen. Dafür werden drei Elektroden benötigt: ein Platindraht als Arbeits-, eine Platinplatte als Gegen- und eine Zirkoniumsonde als Bezugs elektrode. Die damit erhaltenen Kurven zeigen Maxima für bestimmte Redoxstufen, zum Beispiel Reduktion von Eisen³⁺ in Eisen²⁺. Aus diesen Maxima kann man wichtige thermodynamische Werte ableiten.

Voltammetrie-Sensoren und Sonden, die das Lichtspektrum aufnehmen, das von der Schmelze emittiert wird. Sauerstoff-Messinstrumente, die aus einer luftumspülten Zirkon-Sonde und einer großen Platin-Elektrode bestehen, sind seit einigen Jahren kommerziell erhältlich. Auch Anordnungen für Voltammetrie- und optische Sensoren sind bereits in der Entwicklung und Erprobung. In absehbarer Zeit werden leistungsfähige Systeme erwartet, die eine frühe Kontrolle der Läuterung möglich machen, was wiederum Korrekturen an der Chargenzusammensetzung bzw. den Prozessparametern erlaubt. Das Wissen über die komplexe Problematik bei der Glasschmelze, das hat das Otto-Schott-Symposium eindrucksvoll bewiesen, wächst weiter. ◀

