Bedeutung der industriellen Gemeinschaftsforschung für die Glasindustrie[1])

Hansjürgen Barklage-Hilgefort
Nienburger Glas GmbH & Co. KG, Nienburg

Aufgrund der in der Glasindustrie weit verbreiteten Unternehmensgröße bzw. Unternehmensstruktur gehört die Glasindustrie zu den typischen mittelständisch strukturierten Industriezweigen. Abgesehen von einigen wenigen Glashüttenbetrieben, die sich im Besitz internationaler Konzerne befinden, handelt es sich bei fast allen Glashütten um mittelgroße Industriebetriebe; der Personalbestand umfaßt mehrere 100 Arbeitnehmer. Im besonderen Maße gilt dies für die Behälterglasbranche, aber auch für die Hersteller von Kristall- und Wirtschaftsglas sowie für die Betriebe im Bereich Glasbearbeitung und -veredelung. Fast allen Hütten gemeinsam ist die Rohstoffbasis. Überwiegend werden natürliche, heimische Rohstoffe eingesetzt, wobei die Qualitätsanforderungen je nach erzeugtem Produkt stark variieren. Eine Ausnahme in dieser Rohstoffpalette bilden die Soda, die in Deutschland meist als synthetisch hergestellte Soda eingesetzt wird, und die Farboxide, die in der Regel importiert werden. Importiert werden auch Borträger und z.B. Tonerdeträger für Weißglas bei hohen Anforderungen an die Farbreinheit. Im Bereich der Verpackungsglasherstellung ist während der letzten 20 Jahre das Altglas als ein wichtiger Rohstoff hinzugekommen. Etwa 2/3 des Verpackungsglases werden heute aus Altglas hergestellt. Auch die Prozeßtechnik kann als großer gemeinsamer Nenner für die gesamte Glasindustrie genannt werden. Üblich sind in der Massenglasherstellung oberflammbeheizte Öfen, meist mit regenerativer Luftvorwärmung und einer Glasbadtiefe zwischen 1,2 und 1,5 m. Die Schmelzfläche und die spezifische Schmelzleistung variieren je nach Durchsatz und Qualitätsanforderungen. In der Hohlglasindustrie sind spezifische Schmelzleistungen zwischen 2,5 und 3,5 t/(m^2 d) die Regel; bei Flachglaswannen werden aufgrund der erhöhten Qualitätsanforderungen meist Werte um 2 t/(m^2 d) vorgefunden, bei Wannen für Spezial- und Kristallgläser sogar noch niedrigere Werte um 1 bis 1,5 t/(m^2 d). Die Schmelzleistungen einzelner Ofenanlagen variieren in der Verpackungsglasindustrie zwischen 80 und 450 t/d, bei der Flachglasherstellung zwischen etwa 500 und 800 t/d, bei der Glasfaserherstellung zwischen 50 und 200 t/d; bei Spezial- und Kristallglas werden in der Regel Schmelzleistungen bis zu 50 t/d erreicht, während hochwertige Spezialgläser teilweise in sehr kleinen Aggregaten erschmolzen werden.

Auch im Bereich der Glasverarbeitung bzw. -formgebung werden, zumindest im Bereich der Verpackungsglasindustrie, große Gemeinsamkeiten zwischen den einzelnen Unternehmen festgestellt. Allgemein üblich in der Hohlglasindustrie ist heute die weitverbreitete IS-Maschine, die in unterschiedlichsten Ausbaustufen mit 6 bis 18 Stationen je Maschine sowie im Einfach-, Doppel- und Dreifachtropfenverfahren, in seltenen Fällen sogar im Vierfachtropfenverfahren, betrieben wird.

Aufgrund der Unternehmensgröße und -struktur wird von den meisten Glashütten in den Bereichen Forschung und Entwicklung ein eher bescheidener Aufwand getrieben. Eigene Forschungs- bzw. Entwicklungsabteilungen bilden in den meist kleineren Glashütten schon aus Kostengründen die Ausnahme. Somit kann die Gemeinschaftsforschung einen wesentlichen Beitrag leisten, um zur technischen Weiterentwicklung in der Glasindustrie beizutragen. Einserseits kann auf diesem Wege geholfen werden, das in vielen Hütten im Bereich Forschung und Entwicklung bestehende Defizit zu beheben, andererseits bietet sich aufgrund der vielen Gemeinsamkeiten zwischen den Hütten hinsichtlich der Rohstoffbasis und der Verfahrenstechnik die Gemeinschaftsforschung für die Behandlung branchenübergreifender Forschungsthemen an. Im folgenden soll an ausgewählten Beispielen gezeigt werden, wie im Rahmen der Gemeinschaftsforschung, die durch die Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG), Frankfurt/M., koordiniert wird, erarbeitete Forschungsergebnisse zum Nutzen der gesamten Glasindustrie in praktische Anwendungen umgesetzt wurden. Ausgewählt wurden Beispiele aus den Bereichen Energieeinsatz, Anlagentechnik und Produktqualität.

1. Energieeinsatz

Ein wichtiger Themenkreis, zu dem in den 80er Jahren mehrere Forschungsvorhaben durchgeführt wurden, betrifft den Bereich Energieeinsparung bzw. Verbesserung der Wärmeregeneration von Glasschmelzöfen. Vorweg

Eingegangen am 7. September 1994.
[1]) Vortrag auf: Jahreshauptversammlung der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) am 7. Juni 1994 in Köln.

sei an dieser Stelle daran erinnert, daß Beiträge zur Energieeinsparung immer auch einen Beitrag zum Umweltschutz darstellen, sei es durch verringerte Abgasvolumenströme und somit wenigstens proportional abnehmende Emissionsmassenströme oder aber durch verringerte Emissionen beispielsweise in der vorgelagerten Stromerzeugung.

Für die Glaserzeugung als Hochtemperaturprozeß kommt der Vorwärmung der Verbrennungsluft eine herausragende Bedeutung zur Erzielung einer guten Energieausnutzung in den brennstoffbeheizten Öfen zu. Allgemein üblich sind Regeneratoren aus feuerfesten Besatzsteinen, in denen in einem Zyklus von meist 20 min die Abgase abgekühlt bzw. die Verbrennungsluft vorgewärmt werden. Die immer paarweise einander zugeordneten Regenerativkammern werden abwechselnd im Gegenstromverfahren von Luft und Abgas durchströmt. Allgemein üblich waren bis in die 70er Jahre Regeneratoren mit Gitterungen aus quaderförmigen Normalsteinen, die häufig als kombinierte Korbgeflechts-/Rostgitterpackungen ausgeführt waren; die Maerzgitterung als Abwandlung der Rostgitterung ist wegen ihrer relativ hohen Stabilität und der großen spezifischen Wärmetauschfläche noch heute weit verbreitet. Kennzeichnend für die Gitterungen aus Normalsteinen sind Kanalweiten zwischen 130 und 180 mm bei einer Steindicke von 64 bzw. 76 mm. Als neue Variante zur Verbesserung der Luftvorwärmung in den Regeneratoren wurden erstmals in den 70er Jahren Formsteine aus schmelzgegossenem Material (Kreuzsteine) angeboten. Durch eine Steindicke von 40 mm wurde bei etwa gleichbleibender Schachtweite eine wesentliche Vergrößerung der Wärmetauschfläche der Regeneratoren ermöglicht, ohne daß hierzu eine Vergrößerung des Volumens der Regenerativkammern notwendig war. In den 80er Jahren kam als Formgitterstein aus keramisch gebundenem Material der sogenannte Topfstein hinzu; auch dieser Stein hatte eine Kanalweite von 140 bei einer Steindicke von 40 mm. Die Frage nach dem Nutzeffekt dieser Gitterungsarten beschäftigte damals viele Glashütten, da dem Vorteil einer größeren Wärmetauschfläche der Nachteil einer geringeren Speicherkapazität und eines deutlich höheren Preises für den Kammerbesatz gegenüberstand.

Zur Beantwortung dieser Frage wurde von der HVG in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen ein auf einem Differenzenverfahren beruhendes Rechenprogramm zur Modellierung von Regeneratoren entwickelt. Erstmals wurden damals Regeneratoren unter Einsatz von Mikrocomputern ausgelegt. Die Frage nach dem Nutzeffekt der neuen Gitterungsarten konnte dahingehend beantwortet werden, daß diese sich durchaus lohnen, wenn das zur Verfügung stehende Kammervolumen zu gering ist oder aber erhebliche Leistungssteigerungen ohne Vergrößerung des Kammervolumens gefordert werden. Dieses Rechenmodell bildete die Ausgangsbasis für ein wesentlich erweitertes Rechenmodell, mit dem weitere Fragestellungen beantwortet werden konnten, die immer Möglichkeiten zur Energieeinsparung bzw. Leistungssteigerung von Glasschmelzwannen mit regenerativer Luftvorwärmung betrafen. Im folgenden sollen nur einige wesentliche Einflußgrößen kurz genannt werden, die Einfluß auf das wärmetechnische Verhalten eines Glasschmelzofens haben und in dieses Rechenmodell einbezogen wurden:

- Brennstoffart,
- Luftüberschuß,
- Falschlufteinbrüche,
- Ausflammverluste,
- Sauerstoffeinsatz,
- elektrische Zusatzheizung,
- Scherbenanteil,
- Gemengefeuchte,
- Schmelzleistung.

Eine weitere Fragestellung, die zu Beginn der 80er Jahre ebenfalls auf großes Interesse in der Glasindustrie stieß, war die nach den wärmetechnischen Möglichkeiten der Gemengevorwärmung mit dem die Regeneratoren verlassenden Abgas. Auch bei großzügigster Auslegung der Luftvorwärmer, in der Regel Regeneratoren, ist in dem Abgas immer ein Restenergieanteil von etwa 25 % der mit dem Brennstoff eingebrachten Energie enthalten, der im wesentlichen auf den unterschiedlichen Volumenströmen und spezifischen Wärmekapazitäten von Abgas und Luft beruht. Die Gemengevorwärmung ist somit eine Möglichkeit, diesen Energieüberschuß im Abgas weiter prozeßgebunden auszunutzen; die Abwärmenutzung für die Erzeugung von warmem Wasser, z.B. für Heizungszwecke, oder in Form der Kraftwärmekopplung kam grundsätzlich zwar auch in Frage, erbrachte aber aufgrund der relativ geringen Abgastemperaturen noch keine befriedigende Wirtschaftlichkeit. Auch die Gemengevorwärmung mit Abgas wurde in das erweiterte Rechenmodell miteinbezogen und konnte nicht nur hinsichtlich ihres wärmetechnischen Nutzeffekts, sondern auch hinsichtlich der zu erwartenden Steigerungen der Schmelzleistung lange vor der ersten praktischen Umsetzung bewertet werden.

Als Nachteil wurde oft der Umstand empfunden, daß die aus der wärmetechnischen Modellierung der Regeneratoren gewonnenen Aussagen nur für den Neuzustand der Regeneratoren gültig sind, da unter praktischen Bedingungen immer mit der Bildung von Ablagerungen durch Rekombination und Kondensation von Alkalisulfaten zu rechnen ist. Die so gebildeten Ablagerungen behindern die Wärmeübertragung zwischen dem Besatzmaterial und dem Abgas bzw. der Luft. Eine zusätzliche Erweiterung erfuhr das Rechenprogramm durch die Einbeziehung der Bildung von Ablagerungen in den Regeneratoren und deren Auswirkungen auf das wärmetechnische Verhalten derselben. Hierdurch gelingt es, die sogenannte Alterung der Regeneratoren zumindest ansatzweise schon in der Planungsphase zu berücksichtigen.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Forschungsvorhaben, in denen wärmetechnische Fragestellungen

Tabelle 1. AiF-Vorhaben zu wärmetechnischen Fragestellungen

- Verbesserung der Wärmeregeneration bei Glasschmelzwannen (AiF Nr. 4878)
- Messung der Wärmeübergangszahlen zwischen Abgas bzw. Luft und Besatz in Regenerativkammern von Glasschmelzwannen (AiF Nr. 5206)
- Rohstoffvorwärmung an Glasschmelzöfen mittels Abgas (AiF Nr. 6311)
- Modellierung der Alterungsvorgänge von Regeneratoren unter Einbeziehung der Bildung von Ablagerungsschichten und des wärmetechnischen Verhaltens (hier Querverbindungen zu anderen Vorhaben zu den Themen Verdampfung bzw. Kondensation: AiF Nr. 2787, 5042, 5703) (AiF Nr. 8190)

mit eindeutigem Bezug auf den Betrieb von Glasschmelzöfen behandelt wurden.

Zusammenfassend kann zu dem hier nur in seinen Grundzügen erörterten Rechenmodell, in das Erkenntnisse aus mehreren, meist durch die AiF geförderten, Forschungsvorhaben eingeflossen sind, gesagt werden, daß es eine wesentliche Hilfestellung bei der Auslegung neuer Öfen bzw. bei Verbesserungen an bestehenden Öfen im Rahmen von Reparaturen darstellt und in vielen Fällen dazu beigetragen hat, Unsicherheiten hinsichtlich der Auslegung der Regeneratoren oder aber hinsichtlich der Auswirkugnen verschiedener Betriebsparameter zu beseitigen. Auch die überlagerte Wirkung mehrerer gleichzeitig geänderter Betriebsparameter kann ermittelt werden. Glashütten, Anbieter von Kammergitterungen und Ofenbauer arbeiten mit diesem Modell.

Abschließend bleibt hinzuzufügen, daß der Aufwand für die hier angesprochenen Forschungsvorhaben gering ist im Vergleich zu den Investitionen für einen einzelnen Glasschmelzofen, die schon bei kleineren Anlagen mit mehreren Millionen DM zu Buche schlagen. Gelingt es somit, durch gezielte Berechnungen eine Fehlauslegung zu vermeiden, die erst nach Ablauf einer langen Ofenreise von 8 oder 10 Jahren korrigiert werden kann, so hat sich der Entwicklungsaufwand bereits mehr als bezahlt gemacht.

2. Ultraschalluntersuchungen an schmelzgegossenen Steinen

Als Beispiel aus dem Bereich Anlagentechnik soll hier die Untersuchung von schmelzgegossenen Feuerfeststeinen angeführt werden. Diese Steine stehen in direktem Kontakt mit dem flüssigem Glas bei Temperaturen von 1200 bis 1400 °C. Bei einer angestrebten Laufzeit von 8 bis 10 Jahren stellt dies eine erhebliche sowohl thermische als auch korrosive Belastung für die verwendeten Werkstoffe dar. Praktisch der gesamte Glaskontaktbereich von Glasschmelzöfen wird heute aus schmelzgegossenen Steinen hergestellt.

Bedingt durch das verwendete Gießverfahren kommt es zur Ausbildung von Schrumpfungslunkern in den schmelzgegossenen Steinen. Die Lunker sind meist von einem Bereich relativ porösen Gefüges (sogenanntes Schwammgefüge) umgeben. Bei ungünstiger Lage des Lunkers kann es örtlich zu einer voreilenden Korrosion des Feuerfestmaterials und in der Folge zum Auslaufen des Glases, im Normalfall mehrerer 100 t, kommen, also zum Ausfall einer gesamten Glasschmelzwanne für mehrere Wochen. Der Schaden setzt sich also aus den Reparaturkosten und dem Produktionsausfall zusammen. Um das vorzeitige Versagen einzelner schmelzgegossener Steine zu verhindern (bereits ein einziger mangelhafter Stein kann zum Totalausfall einer Glasschmelzwanne führen), wurde von der Glasindustrie schon seit langem nach einem zerstörungsfreien Verfahren zur Kontrolle der Steine vor dem Einbau gesucht. Auch bei Verwendung lunkerfreier oder lunkerreduzierter Steine, die in entsprechend weiterentwickelten Gießverfahren, bei denen der lunkerbehaftete Teil der gegossenen Steine verworfen wird, hergestellt werden, bestand der Wunsch nach einem Meßverfahren, mit dem die tatsächliche Lunkerfreiheit derart hergestellter Steine verifiziert werden kann.

Tabelle 2. Einführung der Ultraschalluntersuchung schmelzgegossener Steine in die industrielle Praxis

- Versuche im Technikumsmaßstab an der Universität Erlangen/Nürnberg, Institut für Werkstoffwissenschaften III (AiF Nr. 5836, 1983 bis 1985)
- Aufbau einer mobilen Anlage bei der HVG, hiermit Reihenuntersuchungen in den Glashütten (AiF Nr. 7244, 1987 bis 1989)

Die in den 80er Jahren durchgeführte Entwicklung eines Ultraschallverfahrens zur Untersuchung schmelzgegossener Steine kann als Musterbeispiel für das Zusammenwirken von universitärer Forschung, Transfer der so gewonnenen Forschungsergebnisse durch eine Forschungsvereinigung und anschließender praktischer Einführung angeführt werden (Tabelle 2). Die grundsätzliche Eignung des Ultraschallverfahrens für die Untersuchung schmelzgegossener Steine wurde zunächst im Rahmen eines von der AiF geförderten Forschungsvorhabens an der Universität Erlangen/Nürnberg untersucht. An ausgewählten, von Glashütten bzw. der Feuerfestindustrie zur Verfügung gestellten, Steinen konnte gezeigt werden, daß bei geeigneter Anlagenauslegung Hohlräume in den Steinen eindeutig nachgewiesen werden können. Untersucht wurden dabei sowohl gezielt eingebrachte Bohrungen als auch industriell gefertigte Steine, deren Ultraschallbild im weiteren Verlauf mit dem tatsächlichen Befund, der durch Zersägen des Steines ermittelt wurde, verglichen wurde. Nicht nur Hohlräume, sondern auch das bereits erwähnte „Schwammgefüge", das dem Angriff der flüssigen Glasschmelze wegen seiner hohen Porosität nur in stark verringertem Maße widerstehen kann, und Risse konnten festgestellt werden.

Der Transfer in die industrielle Praxis erfolgte zunächst durch die HVG. Im Rahmen eines weiteren AiF-Forschungsvorhabens, bei dem schon eher von einem Entwicklungsvorhaben gesprochen werden kann, wurde

eine mobile Anlage aufgebaut, mit deren Hilfe bis heute eine Vielzahl von Reihenuntersuchungen an schmelzgegossenen Steinen durchgeführt wurde. Die Untersuchung der Steine erfolgt direkt vor derem Einbau. In einer größeren Anzahl von Reihenuntersuchungen konnten zahlreiche Steine mit Schwachstellen identifiziert werden, die durch intakte Steine ersetzt wurden. Sollte es nur in einem einzigen Fall gelungen sein, den Auslauf einer Glasschmelzwanne durch die Ultraschalluntersuchungen zu verhindern, so hat sich der Aufwand für die AiF-Forschungsvorhaben bereits mehrfach bezahlt gemacht.

Der hohe zeitliche Aufwand für die Ultraschalluntersuchung der Steine direkt vor dem Einbau, der nicht nur durch die Messung selbst, sondern auch durch die Beschaffung von Ersatzsteinen beim Auffinden von Fehlern gegeben ist, legt es nahe, von der als Serviceleistung angebotenen Eingangskontrolle auf der Baustelle zu einer Ausgangskontrolle, die beim Hersteller in die Fertigung der Steine eingegliedert ist und Grundlage für eine Zertifizierung der Steine bildet, überzugehen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Vorgehensweise ist, daß die Ultraschalluntersuchung vor dem aufwendigen, zeitraubenden Säge- und Schleifprozeß, ohne den die Herstellung maßhaltiger, paßgenauer schmelzgegossener Steine gar nicht denkbar ist, stattfinden kann. Somit zieht nicht nur die Glasindustrie dadurch, daß die Betriebssicherheit ihrer Öfen gesteigert wird, ihren Nutzen aus diesem Verfahren, sondern auch die Feuerfestindustrie durch die Vermeidung sowohl von erheblichen Aufwendungen für das Sägen und Schleifen fehlerhafter Steine als auch von Reklamationen.

3. Kontinuierliche Messung des Sauerstoffpartialdruckes in industriellen Glasschmelzen

Der Redoxzustand ist neben der oxidischen Zusammensetzung ein wesentliches Eigenschaftsmerkmal von Glasschmelzen. Der Redoxzustand kann z.B. durch Angabe des Sauerstoffpartialdruckes oder, genauer gesagt, der Sauerstoffaktivität charakterisiert werden. Die Sauerstoffaktivität beeinflußt einerseits in erheblichem Maße das Einschmelzverhalten des Gemenges bzw. der Rohstoffe, ist andererseits aber auch mitverantwortlich für die physikalischen Eigenschaften der Schmelze. Beispielsweise wird Braunglas aus Rohstoffen hergestellt, die in relativ geringen Konzentrationen Eisen enthalten. Bei Zugabe von Sulfat als Läutermittel und Koksmehl als Reduktionsmittel wird durch Bildung von Eisensulfid der bekannte braune Farbton erzeugt. Bei der Grünglasschmelze wird von der Bildung der Sulfide, die die Auflösung des Sandes unter Bildung von Silicatschmelzen bereits bei niedrigeren Temperaturen bewirken, durch Zugabe von Koksmehl gern Gebrauch gemacht. Diese Beeinflussung des Einschmelzverhaltens bedarf jedoch einer genauen Kontrolle des Redoxzustandes des Gemenges bzw. der Schmelze, um ein unerwünschtes Einsetzen des bereits erwähnten Braunfärbemechanismus zu verhindern. Die bei weißem Hohlglas übliche Entfärbung durch Zugabe von selenhaltigen Rohstoffkomponenten wird wegen des polyvalenten Charakters von Selen ebenfalls vom Redoxzustand der Schmelze beeinflußt. Auch die unerwünschte Bildung von Schaum auf der Glasschmelze, die zum einen eine Beeinträchtigung der Wärmeübertragung zur Folge hat, zum anderen unter ungünstigen Umständen ein Auffloaten von Rohstoffbestandteilen mit nachfolgenden schweren Qualitätsstörungen durch das vermehrte Auftreten von Einschlüssen im Glas zur Folge hat, beruht meist auf dem Aufeinandertreffen von Schmelzpartien mit unterschiedlichen Redoxzuständen in einer Wanne. Hinweise sind bekannt, daß auch die Verarbeitbarkeit von Gläsern von der Sauerstoffaktivität beeinflußt wird.

Tabelle 3. AiF-Forschungsvorhaben zur Messung des Redoxzustandes industrieller Glasschmelzen

- Versuche im Labormaßstab an der Universität Erlangen/Nürnberg, Institut für Werkstoffwissenschaften III (AiF Nr. 6168, 1984 bis 1986)
- Entwicklung einer für den praktischen Einsatz geeigneeten Sonde durch die HVG, erste Feldversuche in einzelnen Glashütten (AiF Nr. 7433, 1988 bis 1990)

Tabelle 3 gibt den zeitlichen Ablauf der Entwicklung eines für den Einsatz an Glasschmelzöfen geeigneten Meßverfahrens zur Charakterisierung des Redoxzustandes von Glasschmelzen wieder.

Auch diese Forschungsaktivitäten können wie die Entwicklung des beschriebenen Verfahrens zur Ultraschallprüfung schmelzgegossener Steine als Beispiel für den konsequenten Transfer von Forschungsergebnissen aus dem Hochschulbereich in die industrielle Praxis gelten: Dem universitären Forschungsvorhaben folgt ein Entwicklungsvorhaben unter der Federführung einer technisch-wissenschaftlich ausgerichteten Forschungsvereinigung wie der HVG.

Herkömmliche Verfahren zur Charakterisierung des Redoxzustandes einer Schmelze beruhen auf der SO_3-Bestimmung oder der Messung der Lichttransmission bei 1050 nm, die im wesentlichen von dem Vorhandensein zweiwertigen Eisens bestimmt ist. Diese Messungen können jedoch nur im Labor und nur an erkalteten Proben mit erheblicher Zeitverzögerung durchgeführt werden. Es bestand also erhebliches Interesse an einem Verfahren zur direkten Messung während des laufenden Prozesses, das es erlaubt, die Sauerstoffaktivität unmittelbar am erzeugten flüssigen Glas während oder kurz nach der Schmelze zu bestimmen. Eine im Labormaßstab bereits seit langem benutzte Möglichkeit ist die Verwendung von Zirkondioxid als Sauerstoffionenleiter, um mittels einer elektrochemischen Meßkette bei bekanntem Referenz-Sauerstoffpartialdruck die Sauerstoffaktivität der Glasschmelze zu bestimmen.

Aufbauend auf dem beschriebenen Meßprinzip wurde vom Institut für Werkstoffwissenschaften III der Universität Erlangen/Nürnberg ein Meßverfahren zur

Bestimmung des Sauerstoffpartialdruckes in Glasschmelzen entwickelt. Mittels einer einsetzbaren Sonde, die nach dem dargestellten Meßprinzip arbeitet, wurde zunächst die Sauerstoffaktivität verschiedener industrieller Glasschmelzen im Labormaßstab bestimmt.

Von den im universitären Maßstab gewonnenen Erfahrungen ausgehend wurde von der HVG in mehreren Teilschritten eine für den industriellen Einsatz geeignete Sonde entwickelt, mit der im Rahmen eines weiteren AiF-Forschungsvorhabens Messungen an laufenden Glasschmelzwannen durchgeführt wurden. Im Zuge dieser Messungen wurde zunächst der Aufbau der Sonde vervollkommnet und an die in der Industrie herrschenden Bedingungen angepaßt, um die geforderte Lebensdauer und Zuverlässigkeit gewährleisten zu können. In weiteren Meßreihen wurden dann die an verschiedenen Glasschmelzen zu erwartenden grundlegenden Unterschiede hinsichtlich ihrer Sauerstoffaktivität erarbeitet und verifiziert.

Bei den heute erreichten Standzeiten kann die für die industrielle Anwendung konzipierte Sonde inzwischen als zuverlässiges Meßinstrument angesehen werden. Gegenüber den bisher bekannten, im Labor entwickelten Meßverfahren stellt sie eine wesentliche Bereicherung dar, da die Meßwerte sofort während des laufenden Ofenbetriebs zur Verfügung stehen und nicht erst eine aufwendige Probennahme und Vorbereitung zur Durchführung der Messung notwendig sind. Die laufende Überwachung der Sauerstoffaktivität der Glasschmelze gibt dem Betreiber Sicherheit bei der Ofenführung und ermöglicht das rechtzeitige Eingreifen bei etwaigen Störungen des Schmelzablaufs. Die unmittelbar in Form eines elektrischen Signals anfallenden Meßergebnisse können mit einem Schreiber oder besser mit einem Prozeßleitsystem erfaßt und direkt weiter verarbeitet, archiviert und ausgewertet werden.

4. Schlußbemerkung

Anhand der hier dargestellten Beispiele aus den Bereichen Energieeinsatz, Anlagenbau und Produktqualität konnte gezeigt werden, daß die Gemeinschaftsforschung bei geeigneter Auswahl der Themen und guter Koordination einen wesentlichen Beitrag im Bereich der industriellen Forschung leisten kann. Der branchenbezogenen Koordination, z. B. durch eine Forschungsvereinigung, kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu.

Unbestritten ist darüber hinaus, daß nicht jedes Forschungsvorhaben zwangsläufig zu einem durchschlagenden Erfolg werden kann. Gerade wegen dieses im Forschungsbereich eben nicht abschätzbaren Risikos ist es sinnvoll, daß die Gemeinschaftsforschung sich solcher Themen bzw. Forschungsaufträge annimmt, bei denen eine Risikoabschätzung bzw. eine Erfolgsvorhersage nicht möglich ist, um potentiellen Anwendern das finanzielle Risiko im Falle eines Mißerfolges abzunehmen. In besonderem Maße gilt dies für mittelständisch strukturierte Industriezweige wie die Glasindustrie.

1194T011