

Effiziente Massenproduktion von Brennstoffzellen

Der steigende Bedarf an Brennstoff- und Elektrolysezellen ist mit den aktuell verfügbaren Öfen nicht zu bewältigen. Für eine kosteneffiziente Massenproduktion werden kontinuierliche Produktionsöfen gebraucht, die eine hohe Produktqualität und zuverlässige Prozesssicherheit bei großen Stückzahlen liefern.

Laut der Studie „Hydrogen Insights 2021“ des Hydrogen Council planen Unternehmen bis 2025 eine sechsfache Erhöhung und bis 2030 eine 16-fache Erhöhung ihrer Wasserstoffinvestitionen. Für die steigende Nachfrage nach Elektrolysekapazitäten und Brennstoffzellen sollen vor allem größere Fertigungskapazitäten aufgebaut werden. Die Massenproduktion von oxidkeramischen Brennstoffzellen (SOFC) und Elektrolysezellen (SOE) ist mit einfachen Kammeröfen und wenigen Kubikmetern Nutzraum nicht umsetzbar. Sie führt bei steigenden Produktionszahlen zu höheren Ausschussquoten, längeren Bearbeitungszeiten und einem im Verhältnis zum Durchsatz hohen

Energieverbrauch. Eines der Kernprobleme ist die zu geringe Temperaturgleichmäßigkeit innerhalb einer Charge, was sowohl die Zellgeometrie als auch die Binder-/Gasentfernung und damit die Produktqualität wesentlich beeinträchtigt.

Onejoon hat jetzt erstmals eine Lösung für die kosteneffiziente Massenproduktion von SOFC-Zellen entwickelt. Der Spezialist für technologisch anspruchsvolle Ofentechnik, damals noch Eisenmann Thermal Solutions, hat im Herbst 2019 mit der Weiterentwicklung von kontinuierlichen Produktionsöfen für die besonderen Erfordernisse von oxidkeramischen Brennstoff- und Elektrolysezellen begonnen und diese im ersten

Quartal 2021 abgeschlossen. Dabei wurden die Schritte vom Labor- zum Kleinserienmaßstab und schließlich zum Großserienprozess erfolgreich umgesetzt (Bild 1).

Kontinuierliche Produktionsöfen für oxidkeramische Zellen

Ein entscheidender Vorgang bei der Zellherstellung ist die gesteuerte Erwärmung und Bestromung der Produkte im ersten Aufheizenschritt, dem Entbindern. Freiwerdende Binderstoffe müssen gezielt abgeführt werden. Gleichzeitig darf eine vorgegebene Aufheizrate lokal nicht überschritten werden. Um die Wärmeübergangskoeffizienten unter realen Prozessbedingungen bereits in der Designphase abschätzen zu können, hat Onejoon im eigenen Technikum, am Strömungsversuchsstand und in der realen Produktion detaillierte Messungen und anschließende Simulationsstudien durchgeführt.

Neben der thermogravimetrischen Analyse wurden vorrangig Temperaturmessungen an relevanten Messpunkten im Ofen vorgenommen. Auf diese Weise wurden die wichtigsten Stellgrößen für ein kontinuierliches System und Grenzwerte für den Produktionsprozess ermittelt.

Zu den besonderen Herausforderungen im Produktionsprozess zählt die kontrollierte Entbinderung. Da die Reaktionen in der Regel exotherm sind, kann es bei einer mangelhaften Prozessführung zu einer unkontrollierten Binderfreisetzung und damit verbunden zu einem Temperaturanstieg am Produkt kommen. Mögliche Folgen sind Rissbildungen und Aufblähen der

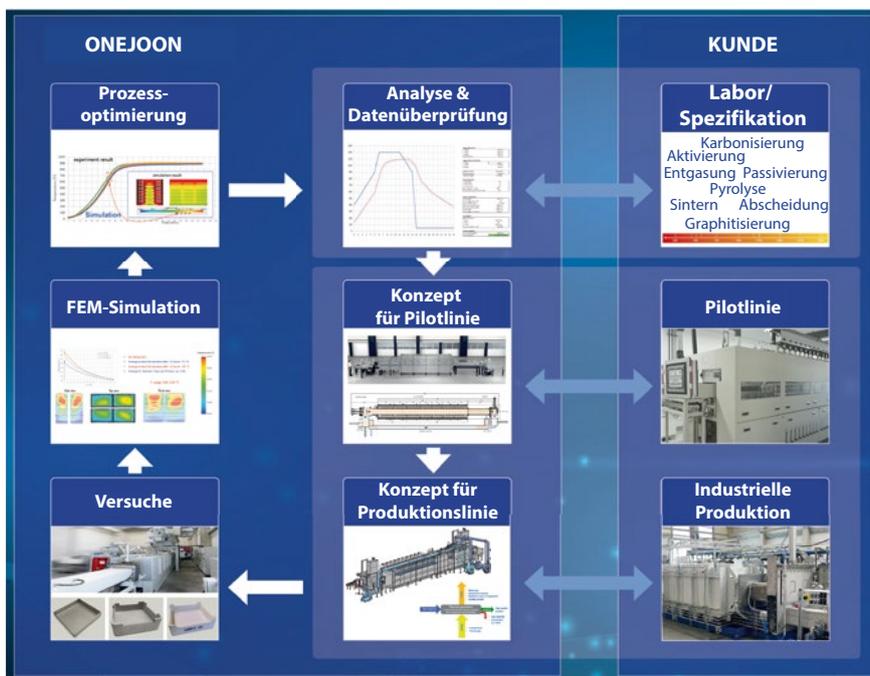


Bild 1 Der vollständige Entwicklungsprozess vom Labor bis zum Produktionsofen. (© Onejoon)

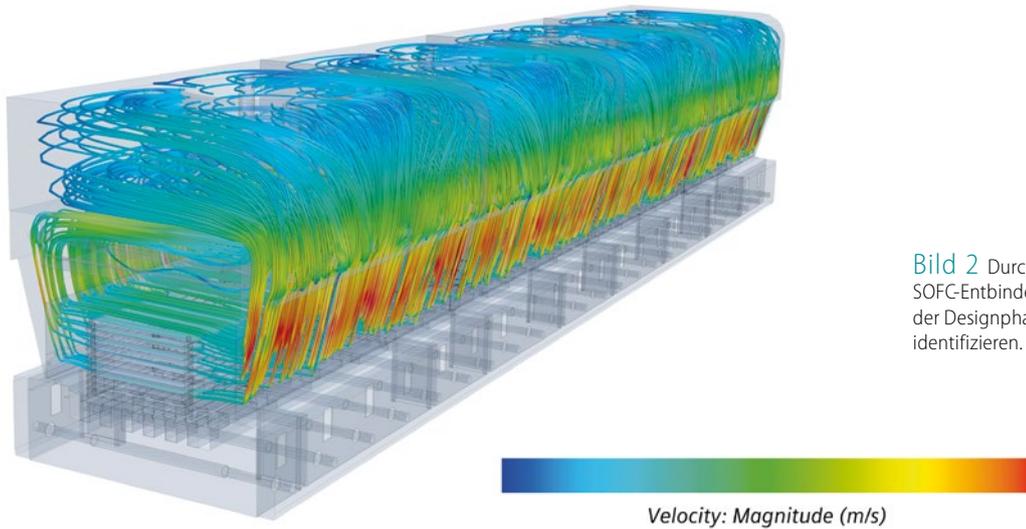


Bild 2 Durch die Strömungssimulation bei einem SOFC-Entbinderungsprozess lassen sich bereits in der Designphase Verbesserungsmöglichkeiten identifizieren. (© Onejoon)

Zelle und im schlimmsten Fall der Ausschuss. Des Weiteren kann dies zu einem Sauerstoffmangel im Prozess und zu Kohlenstoffrückständen im Gefüge führen, die beim Sintern unerwünschte Porenbildung verursacht.

Hier kommt es vor allem auf die Temperaturhomogenität an, um einer ungleichmäßigen Ausdehnung und Schrumpfung der Zelle vorzubeugen. Die resultierenden Veränderungen im Gefüge können den späteren Gasaustausch der Zelle behindern.

Für die Wärmeregulierung im kontinuierlichen Entbinderungsöfen entwickelte der Ofenspezialist ein alternatives Heizungskonzept. Der Energieaustausch erfolgt durch eine gesteuerte Luftströmung sowohl über die Wärmestrahlung als auch konvektiv. Dabei wird die Zelle mit Hilfe eines regelbaren Gebläses über ein fein einstellbares Düsenfeld überströmt und das Bindergas aktiv abtransportiert.

Für eine bessere Temperaturhomogenität wurde außerdem ein minimierter Brennhilfsmittelaufbau geschaffen, der kontinuierlich durch den Ofen transportiert wird. Durch die hohe thermische Kopplung zwischen Produkt und Brennhilfsmittelaufbau, wird das Produkt gleichmäßig erwärmt, was für ausgeglichene Verhältnisse und eine bessere Kontrolle des Wärmeprozesses sorgt. Insbesondere die Herauslösung der Binderstoffe aus dem Keramiksubstrat lässt sich jetzt besser steuern.

Produktspezifische Simulation und Optimierung

Der Weg zum optimalen Ofen für ein spezifisches SOFC-/SOE-Produkt erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Anlagenbetreiber und der Kooperation von Konstruktion und Simulationsabteilung. So lassen sich anhand validierter, physikalischer Modelle bereits im frühen Entwicklungsstadium eines SOFC-Produkts Vorhersagen über die thermische Behandlung der Zellen während der Ofenprozesse treffen. Die dafür genutzte Strömungssimulation basiert auf einem repräsentativen Modell der späteren Ofenzone oder eines definierten Ofenbereichs. Hierfür wird der zu untersuchende Ofenbereich ausgewählt und auf Basis eines CAD-Modells ein diskretes Rechengitter generiert.

Durch die Simulation werden Kundenspezifikationen und Randbedingungen frühzeitig auf mögliche Schwierigkeiten in der Produktion überprüft und konstruktive Anpassungen bereits vor der realen Anwendung durchgeführt (Bild 2). Auch Probleme mit bestehenden Anlagen können per Simulation erkannt und korrigiert werden. Dieses modellbasierte Design-Engineering verschafft Anlagenbetreibern technische und wirtschaftliche Vorteile, indem das „Innenleben“ des Ofens frühzeitig visualisiert und bewertet wird. Dabei können je nach Produkt Optimierungen beispielsweise am Brennhilfsmittelaufbau, dem Düsenfeld, der

Strömungsführung oder der Heizleistung und Regelung vorgenommen werden. Durch den sehr hohen Temperaturbereich der kontinuierlichen Produktionsöfen von bis zu 1500 °C lässt sich auch der Sinterprozess produktspezifisch anpassen.

Für die Herstellung von SOFC-/SOE-Produkten sind der Schubplattenofen und der Rollenofen die am besten geeigneten kontinuierlichen Produktionsöfen. Der Schubplattenofen eignet sich besonders für die Massenproduktion bei hohen Durchsätzen mit geringen Energieverlusten (Bild 3). Der Rollenofen zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität mit detailliert steuerbaren Aufheizkurven aus und eignet sich deshalb besonders gut für die Optimierung von Prozessen im Massenproduktionsmaßstab.

Für die Anpassung der Öfen an neue SOFC-/SOE-Produkte nutzt Onejoon einen standardisierten Engineeringprozess. Dadurch sind nur wenige Monate von der ersten Anfrage bis zum validierten Modell für dieses Verfahren erforderlich. Darüber hinaus bietet das Unternehmen auch eine Turn-Key-Lösung an, die das Zellhandling, die Konstruktion der Brennhilfsmittel und eine Abgasnachbehandlung als schlüsselfertiges System umfasst (Bild 4). Ein Ausblick: Im 3. Quartal 2021 wird von Onejoon erstmalig am Markt ein kontinuierlicher SOFC-Versuchsöfen für die Anforderungen von Brennstoffzellen im hauseigenen Technikum in Betrieb genommen.



Bild 3 Der Schubplattenofen eignet sich für die Massenproduktion von SOFC-/SOE-Produkten aufgrund seiner hohen Durchsätze mit geringen Energieverlusten besonders gut. (© Onejoon)

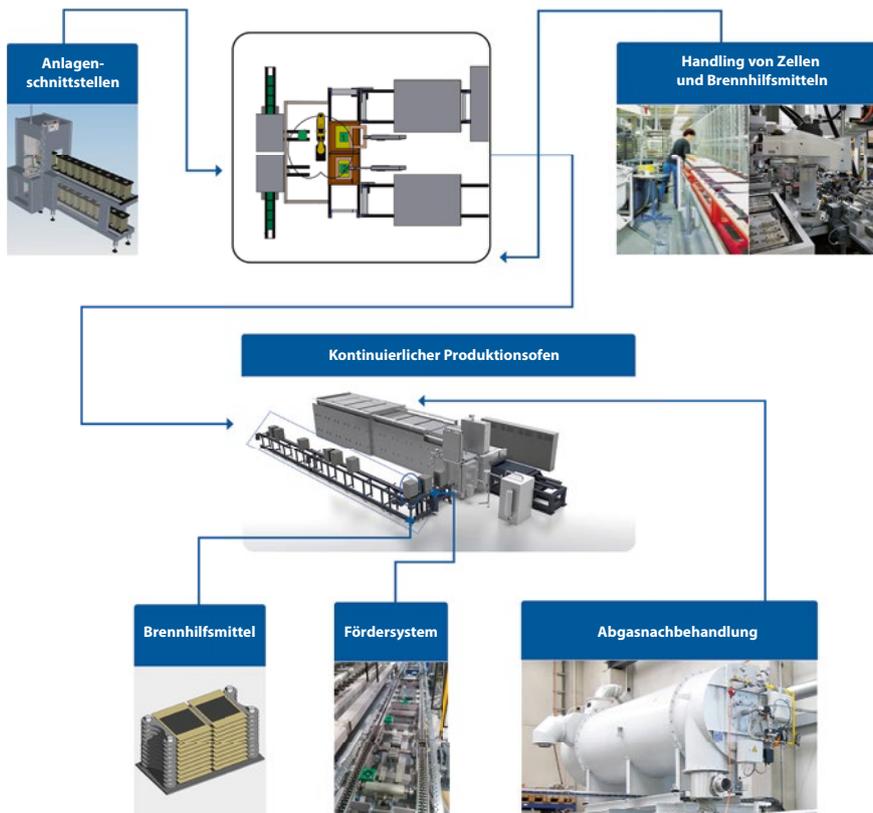


Bild 4 Die schlüsselfertige Produktionsanlage umfasst das Zellhandling, die Konstruktion der Brennhilfsmittel und eine Abgasnachbehandlung. (© Onejoon)

Vorteile für die Massenproduktion

Kontinuierliche Produktionsöfen haben bei der Umstellung von SOFC-/SOE-Produkten auf die Massenproduktion deutliche Vorteile:

- ▶ Schnelleres, gleichmäßigeres Aufheizen
- ▶ Erhöhte Produktqualität durch bessere Entbinderung
- ▶ Größere Flexibilität und höhere Prozesskontrolle
- ▶ Sicherere Produktion

- ▶ Hohe Energieeffizienz
- ▶ Innerhalb von zwölf Monaten zur Produktion

Das Produkt wird durch eine gleichmäßig beheizte und vollständig durchwärmte Ofenzone transportiert, was zu einer besseren Wärmeübertragung und Temperaturgleichmäßigkeit innerhalb der Produktcharge führt. Damit können Temperaturabweichungen auf ± 5 K begrenzt werden. Die erzwungene Konvektion sorgt dabei für eine vollständige Binder- und Gasentfernung aus den Zellen und verhindert, dass sich Kohlenstoffablagerungen bilden. Neben dem alternativen Heizkonzept werden kleinere Regelzonen gebildet. Sie ermöglichen eine bessere Einstellung und Überwachung der Prozessparameter. So sind auch bei chargenbedingten Materialschwankungen oder beim Hochfahren des Prozesses schnellere Anpassungen möglich. Außerdem können unterschiedliche Temperaturprofile für verschiedene Produkte genutzt werden. Durch einstellbare Ab- und Zuluftöffnungen innerhalb jeder Zone lässt sich die Konzentration entzündlicher Gase besser überwachen und beherrschen.

Zur Aufrechterhaltung der gewünschten Temperatur ist weniger Energie notwendig als bei einem diskontinuierlichen Ofen. Die Wand- und Aufheizverluste sind reduziert, Querschnitt und Luftumwälzung optimiert und die zur Entbinderung eingesetzte heiße Luft wird rezirkuliert. Im Vergleich zu konventionellen kontinuierlichen Sinteröfen wird durch eine optimierte Konstruktion der Strahlungsverlust reduziert und bei der Sinterung bis zu 40 % der Energie eingespart. Durch ein modularisiertes Design lassen sich zudem die Vorlaufzeiten verkürzen und die Projektentwicklung beschleunigen, sodass von der Bestellung über die Entwicklung und Konstruktion des Ofens bis zum Start der Produktion nur zwölf Monate benötigt werden. ◀

Kontakt:

Onejoon GmbH, 37120 Bovenden,
www.onejoon.de