

GIESSEREI

Die Zeitschrift für Technik, Innovation und Management

**CASTING
THE FUTURE**
SINCE 1914

Sonderdruck:

Digitaler Zwilling überwacht den Tiegelzustand

ITficient AG, RAUCH Furnace Technology GmbH und CADFEM Germany GmbH





Magnesium-Schmelzofen von Rauch-FT.

Vorausschauende Wartung

Digitaler Zwilling überwacht den Tiegelzustand

Kommt es im Schmelzofen zum Tiegelbruch, steht meist die ganze Gusszelle still. Um die Ausfallzeit der Anlage zu minimieren, sind Reinigungs- und Wartungsarbeiten in fixen Intervallen unerlässlich. Aufgrund der extremen und intransparenten Bedingungen im Ofen kann es trotzdem zu Problemen kommen. Rauch Furnace Technology hat die Sicherheit bei seinen Magnesium-Schmelzöfen drastisch erhöht. Ein simulations-basierter Digitaler Zwilling überwacht permanent den Tiegelzustand.

VON TERESA ALBERTS, FLORIAN SIPEK, ALEXANDER KUNZ, CHRISTIAN ABRAMOWSKI

Der Physiker Florian Sipek beschäftigt sich als Leiter Forschung und Entwicklung beim österreichischen Spezialisten für Schmelztechnik Rauch Fur-

nace Technology (FT) auch mit neuen Technologien, welche die eigenen Produkte und Prozesse verbessern. Als ihm in verschiedenen technischen Fachpublikationen und auf Konferenzen immer wieder erfolgreiche Projekte zum Thema „prädiaktive Wartung“ von Bauteilen, Systemen und Anlagen begegneten, fiel ihm auf: Sie stammen aus

unterschiedlichsten Branchen und Anwendungsfeldern, aber kein einziges aus seinem Bereich, der Schmelztechnik. Deshalb befasste er sich nicht nur intensiv mit der Technologie, sondern übertrug die Möglichkeiten eines „Digitalen Zwillinges“ auf sein eigenes Tätigkeitsfeld in der Ofen- und Thermomechanik-Technik.



FOTO: RAUCH-FT

Bild 1: Nachchargieren einer Schmelzanlage mit Magnesium-Masseln. Die Qualität des Schmelzmaterials bestimmt maßgeblich den Wartungsbedarf der Anlage.

Digitaler Zwilling kurz erklärt

Unter einem Digitalen Zwilling versteht man im Kontext der prädiktiven Wartung ein detailliertes digitalisiertes Modell eines Produkts und seines Verhaltens unter verschiedensten Belastungen im laufenden Betrieb. Dieses Verhalten wird durch echte und virtuelle, d. h. simulationsgestützte Sensoren beschrieben. Betreiber von Anlagen oder Geräten profitieren von Digitalen Zwillingen durch eine verbesserte Verfügbarkeit der Produkte. Die genaue Kenntnis über den aktuellen Anlagenzustand und entstehende Probleme, z. B. ausgelöst durch Verschleiß, verhindert nicht nur Stillstandszeiten und Produktionsausfälle, sondern macht auch die Arbeit des Bedienpersonals sicherer.

Darüber hinaus erlauben Digitale Zwillinge auch einen Blick in die Zukunft und zeigen, wie der Betrieb systematisch optimiert werden kann, etwa durch den Ausgleich von Energiekosten, Laufzeit, Wartungsbedarf, Anlagenleistung und Produktqualität.

Zusätzlich zum reinen Hardware-Geschäft hinaus ermöglichen Digitale Zwillinge Anbietern insofern ganz neue Dienstleistungen – man denke an Wartungsempfehlungen, Ersatzteilmanagement oder Laufleistungsmanagement. Solche zusätzlichen, betriebsorientierten Dienstleistungen können ein wertvoller Baustein zum Aufbau oder zur Festigung von langfristigen Kundenbeziehungen sein, denn sie verbessern das Feedback zur tatsächlichen Nutzung und zum Bedarf an zukünftigen Produkteigenschaften.

tigen Produkteigenschaften.

Florian Sipek begeisterte mit seiner Idee auch seine Kollegen und die Geschäftsführung – Innovation und Mut zu neuen Wegen gehören zu Rauch-FT. Sie haben das kleine, aber hochspezialisierte Unternehmen aus Gmunden in Oberösterreich an die Weltspitze in der Schmelztechnik geführt, bei Schmelzanlagen für Magnesium gilt es als Weltmarktführer.

Die Digitalisierung der Extreme

Die Schmelztechnik ist im Vergleich zu vielen anderen Branchen von extremen physikalischen Kräften geprägt, die in den Anlagen wirken. Ihre Abbildung in digitalen Modellen ist daher eine besondere Herausforderung, der sich in der industriellen Praxis bisher nur wenige gestellt haben. Dementsprechend haben es auch die Magnesium-Schmelzöfen von Rauch-FT „in sich“: Wenn darin Metalle geschmolzen, recycelt und aufgelegt werden, ist es bis zu 2000 °C heiß, Gasströme haben Geschwindigkeiten von 1000 km/h, Belastungswechsel sind die Regel (Bild 1).

Noch keine vergleichbaren Ansätze in der Gießereitechnik

Rauch-FT ist die Herausforderung, die Schmelzöfen durch digitale Methoden sicherer zu machen, nicht allein, sondern mit den Partnern ITficient und CADFEM angegangen. ITficient für Datenmanagement, Geschäftsmodell- und IT-Architektur, CADFEM für die Simulation von Strömung über verschiedene transiente und nichtlineare strukturmechanische Anwendungen und Sensitivitätsstudien bis hin zu Systemsimulationen inklusive Zustandsüberwachung.

Die ganze Welt der
Gießerei
auf **einen Blick**
treffsicher und zielführend!



HOME OF FOUNDRY
DAS BRANCHENPORTAL

- Tagesaktuelle Nachrichten
- Praxistipps
- Branchengrößen im Interview
- Branchenspezifisches JobPortal

Die neue
Website
für **Gießer**

www.home-of-foundry.de

**Aktuell, kompetent
und spannend**

powered by:

GIESSEREI

Foto: @whyframeshot - stock.adobe.com



FOTO: RAUCH-FT

Bei Rauch-FT werden bereits viele Anlagen und Komponenten simuliert. Meist geht es um Strömungsmechanik, das Spektrum reicht von transienten Abkühl- und Aufheizprozessen über Vorgänge in Dosier- oder Strömungspumpen bis hin zu chemischen Reaktionen. Zudem ist neben einer leistungsfähigen IT-Infrastruktur über die Fernwartung schon ein großer Datenpool zur Anlage vorhanden. Dessen Auswertung liefert wertvolle Erkenntnisse zum Betrieb der Öfen, die ebenfalls in den Digitalen Zwilling einfließen – gute Voraussetzungen also.

Bild 2: Schmelztiegel eines Magnesium-Schmelzofens mit einem Nenninhalt von 4,3 Tonnen Magnesium-Legierung.

Bild 3: Die präzise Simulation der thermischen Vorgänge im Ofenraum, die in Zusammenarbeit mit CAD/FEM durchgeführt wurde, trägt wesentlich zu einer verlässlichen Vorhersage des Tiegelzustands bei.

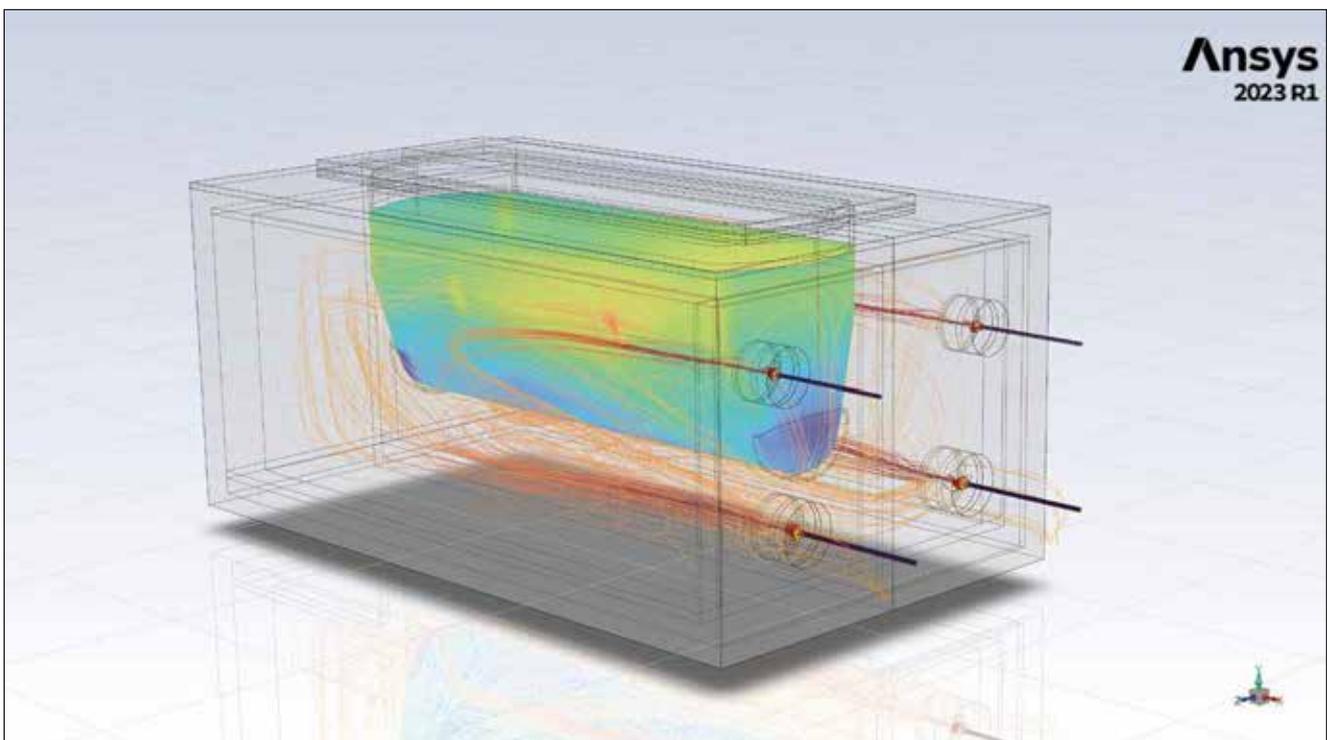
Von der Idee zum Konzept

Ausgangspunkt für die Realisierung des Projekts war ein von ITficient moderierter Intensiv-Workshop mit eingehender Analyse von Anforderungen, Zielen und Voraussetzungen. Darin wurden elementare Aspekte herausgearbeitet und präzisiert:

- > Stakeholder: Wer bei Rauch-FT ist betroffen?
- > Sichtweisen: Welche Herausforderungen gibt es, was sind die Mehrwerte?
- > Personas: Wer sind die zukünftigen aktiven Nutzer?
- > Priorisierung: Welcher Use Case eignet sich zum Einstieg?
- > Technische Analyse: Welche Modelle, Sensordaten, IT-Infrastrukturen sind vorhanden?

Am Workshop teilgenommen hat ein interdisziplinäres Team bestehend aus Geschäftsführung, Vertrieb, Produktmanagement, Service und dem Engineering. Die Ausarbeitung erfolgte unter Anwendung der Design Thinking Methode. Im Use Case Exploration-Workshop wurde unter anderem über die Themen CO₂-Bilanz, Optimierung der Prozessabläufe, Anlagenverfügbarkeit und Arbeitssicherheit diskutiert. Was soll mit dem Digitalen Zwilling erreicht werden? Das bisherige Bauchgefühl soll in explizites Wissen umgewandelt werden und der Kunde soll aus den Erfahrungen im Umgang mit Magnesium vom Unternehmen profitieren.

In einem zweiten Schritt wurde dann eine technische Bestandsanalyse er-



GRAFIK: RAUCH-FT

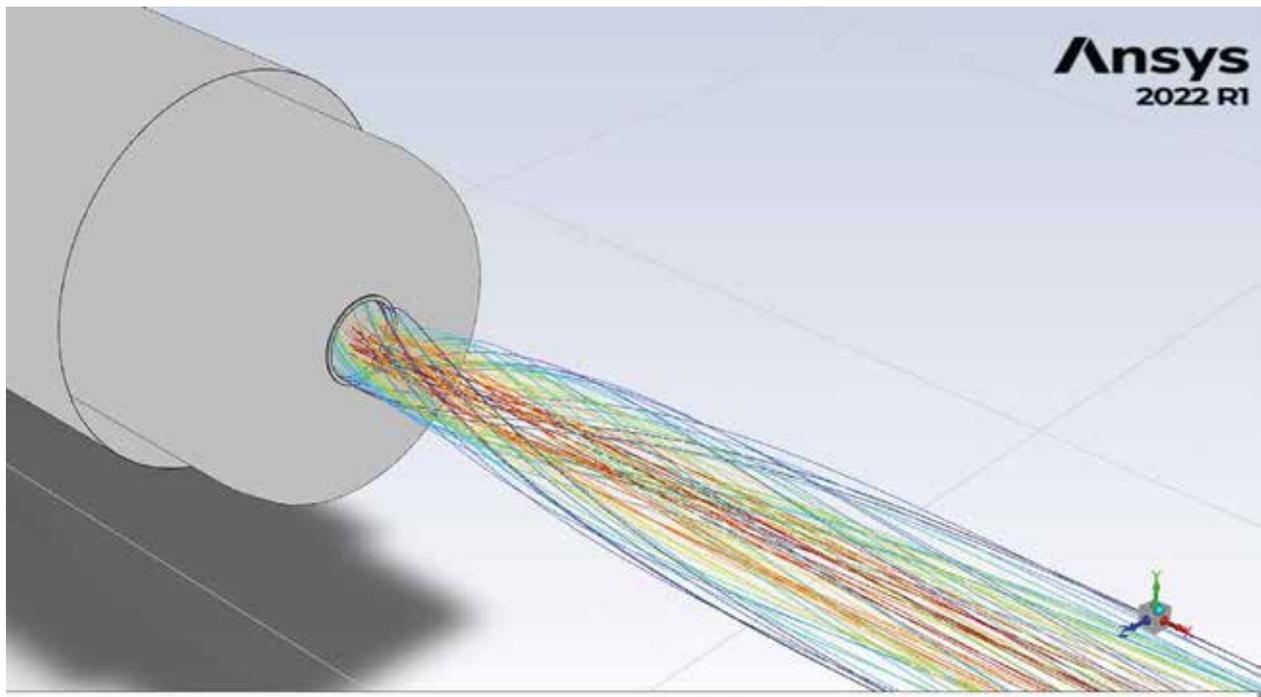


Bild 4: Komplexe und extrem schnelle Strömungsvorgänge im Ofenraum müssen abgebildet werden.

stellt. Unter anderem wurden folgende Fragen diskutiert: Welche Einflussgrößen haben eine Auswirkung auf die Lebensdauer des Tiegels? Welche Modelle, Sensordaten und welche IT-Infrastruktur sind vorhanden? Nach der Bestandsaufnahme wurde durch die CADFEM- und ITficient-Experten ein übergreifendes Konzept für die technische Realisierung sowie die Roadmap und der Projektplan erstellt. Dabei wurde der Tiegel als Herzstück des Digitalen Zwillinges deklariert (Bild 2). Bei der Umsetzung wurde der Plan regelmäßig überprüft und wenn nötig an neue Randbedingungen angepasst. Das komplette Projekt erfolgte gemeinschaftlich und mit dem klaren Ziel, einen umfassenden Wissenstransfer zu Rauch-FT zu erreichen.

Wie lange hält der Tiegel durch?

Der Tiegel aus Stahl, der sich beim initialen Workshop als das ideale Bauteil für die erste praktische Umsetzung entpuppt hatte (Bild 3), ist im Betrieb hoch belastet: „1000 °C heißes Rauchgas außen, korrosives Schutzgas und hydrostatischer Druck von bis zu 4 Tonnen schwerer Schmelze innen“, erklärt Florian Sipek. „Hinzu kommen extreme Temperaturgradienten, die Strahlungsleistung der Flamme und hohe Geschwindigkeiten bei einer inhomogen verteilten Strahlungsenergie“ (Bild 4).

Versagt der Tiegel, steht das System still. Die Wartung basiert üblicherweise auf Erfahrungswerten, was funktionieren kann – in einer idealen Welt. Sobald aber Unregelmäßigkeiten in den Prozessen oder bei der Handhabung auftreten, droht ein Versagen und damit Folgeschäden. „Genau dann zeigt sich der Wert der prädiktiven Wartung“, fasst Florian Sipek zusammen.

Beispiel: Einflüsse der Segregation

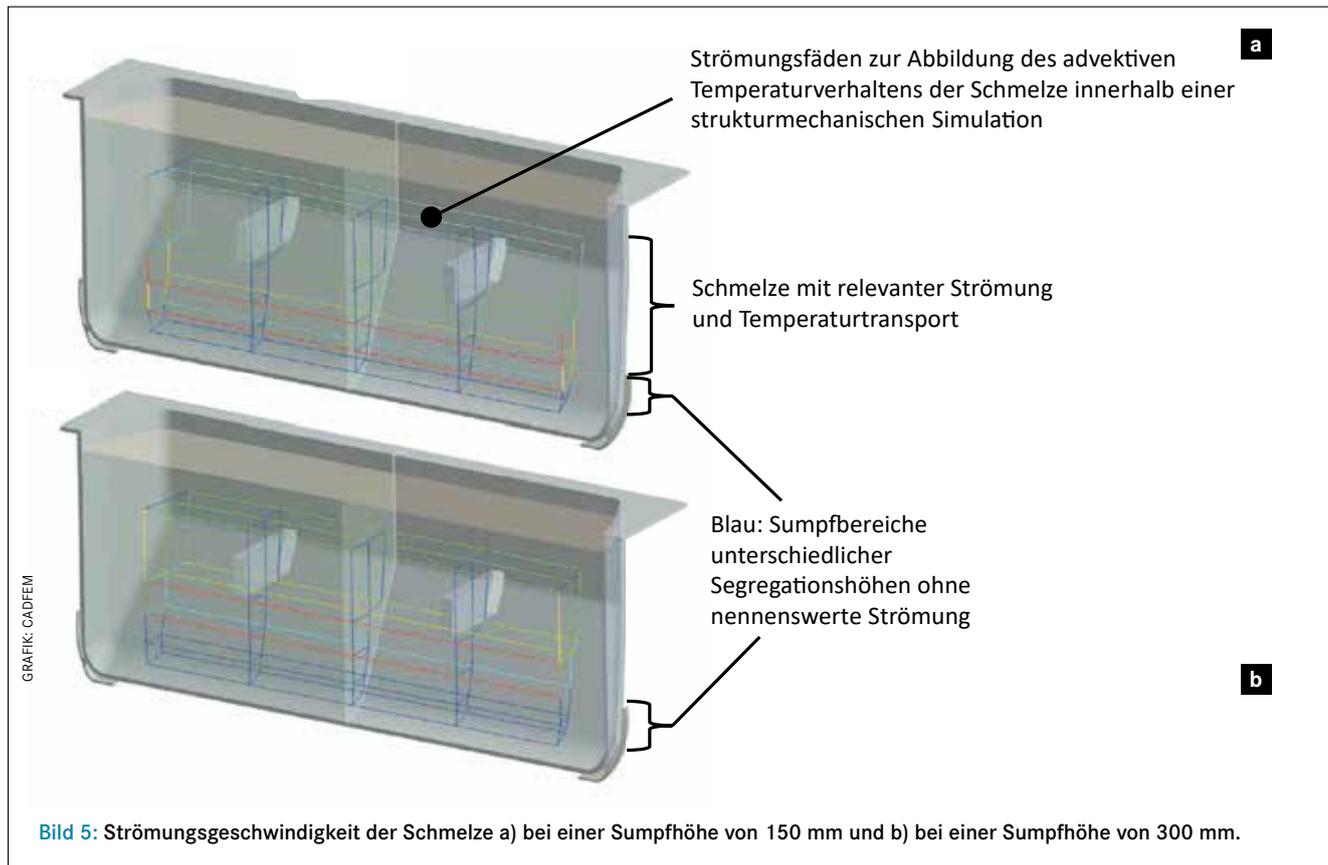
Ein konkretes Beispiel mit einem direkten und integren Einfluss auf die Tiegellebensdauer ist die Segregation der Legierung. In jeder Legierung sind intermetallische Phasen vorhanden, die in ihrer intrinsischen Dichte unterschiedlich sind. Diese Änderungen der Eigenschaften beeinflussen direkt die lokalen Wärmeübergänge vom Ofenraum durch den Tiegel in die Schmelze. Sie begünstigen eine weitere inhomogene Temperaturverteilung an der Außenwand. Speziell im Bereich der Schweißnähte können dadurch erhöhte mechanische Spannungen entstehen. Da zielgerichtete Messungen an der Ofenanlage einen direkten Rückschluss auf die Sumpfmenge ermöglichen, wird diese Eigenschaft als eine Randbedingung für die Simulation herangezogen. Außerdem soll sie direkt am HMI beim Kunden ausgegeben werden, um Reinigungsaufforderungen anzuzeigen.

Die Sumpfmenge ist demnach eine wichtige Kenngröße für eine korrekte Aussage zur Echtzeit-Belastung des Tiegels und damit auch für die Verlässlichkeit der prädiktiven Wartung. Aufgrund der Umgebungsbedingungen im Tiegel und im Ofen ist die Nutzung realer Sensorik für die Temperaturmessung ansonsten kaum möglich. Deshalb sah das Konzept virtuelle Sensoren für Simulationen vor. So kann mit den richtigen Messstellen und Eingangsgrößen auf eine lokale Belastung am Tiegel geschlossen werden.

Blick in die Simulation zur Vorhersage des Tiegelzustands

Für die Vorhersage der verbleibenden Standzeit des Tiegels sind die präzise Modellierung der Temperaturverteilung im Ofenraum (Ergebnis der Strömungssimulationen, Computational Fluid Dynamics, CFD) und der Spannungen an den Schweißnähten (Ergebnis der strukturellen FEM-Berechnungen) essenziell. Simuliert wird ein Magnesium-Schmelzofen mit einer Schmelzrate von bis zu 1200 kg/h und einer Beheizung mittels vier Erdgas-/LPG Rekupektor-Brennern mit einer Nenn-Anschlussleistung von bis zu 860 kW.

CFD-seitig wird für eine korrekte Vorhersage der Flammentemperatur, der Wärmestrahlung und des Impulseintrags eine Verbrennungssimulation des Bren-



ners und des Ofenraums mit der Software Ansys Fluent durchgeführt. Auf Basis der CFD-Ergebnisse erfolgen anschließend Temperaturfeld- und Spannungsanalysen, mit der Schmelze als variable Wärmesenke, um das Aufschmelzen eingeworfener Barren abzubilden.

Der Rekuperator, der Wärmeüberträger, wird vereinfacht als Randbedingung modelliert, jedoch nicht direkt mitsimuliert. Es wird somit nicht die Leistung direkt vorgegeben (denn diese wird schon gerechnet), sondern nur die Massenströme und Temperaturen der Prozessgase. Diese Verbrennungsrechnung ist die Basis für die gesamte Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung im Ofenraum, welche wiederum in einen Wärmeübergang (d. h. Wärmeübergangskoeffizient + Temperaturverteilung) am Tiegel resultiert.

Der Stahltiegel selbst wird ebenfalls modelliert, wodurch hier mittels Konduktion die Temperaturverteilung in die Schmelze übertragen wird. Die Schmelze wird zudem als Fluid modelliert – und nicht wie so oft als Festkörper mit konstanten physikalischen Bedingungen – um die freie und ggf. erzwungene Konvektion zu berücksichtigen. Die gesamte Rechnung erfolgt stationär mit einer konstanten Schmelzrate, welche als Wärmesenke innerhalb der Schmelze lokal berücksichtigt werden kann. Durch diese anpassbare Lokalität der Wärmesenke

kann hineinfallendes aufzuschmelzendes Material je nach Kundenlayout in der Position variiert werden. Insgesamt hat das mit Ansys Fluent vernetzte Modell eine enorme Größe von knapp 12 Millionen Zellen und würde entsprechend lange Rechenzeiten benötigen. Daher werden in der thermisch-strukturmechanischen Simulation die Spannungen in Abhängigkeit aller relevanten thermischen Einflussgrößen, abgebildet. Dazu gehören auch die strömungsmechanischen und thermischen Effekte der Schmelze und des Sumpfes, die in Anlehnung an CFD-Simulationen durch ein Netzwerk aus Strömungsfäden abgebildet werden. **Bild 5** zeigt das FEM-Modell mit den Strömungsfäden für zwei verschiedene Sumpfhöhen. Da die Ergebnisse in Echtzeit vorliegen müssen, kommt ein Reduktionsverfahren zum Einsatz.

Modellreduktion auf die entscheidenden Parameter

Für die Erzeugung eines reduzierten Modells (ROM) wird zuerst eine Sensitivitätsstudie aus einer Stichprobe von 100 verschiedenen Parametervariationen durchgeführt. Die Ein- und Ausgangsparameter bilden eine 9x6-dimensionale Hyperfläche. Außerdem werden transiente Änderungen des Zustands basierend auf den

Echtzeit-Messdaten an der Anlage in der FEM-Spannungsanalyse berücksichtigt, dies ist vor allem bei plötzlichen Stillständen, Wochenend- oder Nachtbetrieb relevant. Auch eine Analyse etwaiger Einflüsse von nichtlinearen Materialeigenschaften wurde durchgeführt. Eine möglichst präzise Modellierung von Fließprozessen und Spannungen an den Schweißnähten ist essenziell für die Vorhersage der Standzeit des Tiegels.

Insbesondere die Temperaturverteilung am Tiegel ist von herausragender Bedeutung für die „Gesundheit“ des Ofensystems. Durch die unwirtlichen Bedingungen im Ofenraum bzw. im und am Ofen selbst ist es unmöglich reale Sensoren so anzubringen, dass eine direkte Beurteilung möglich wäre. Durch die Erstellung des ROMs und des Digitalen Zwillings werden „virtuelle“ Sensoren erzeugt, welche die notwendigen Parameter und Randbedingungen für eine weitergehende Analyse in Echtzeit liefern.

Eine besondere Herausforderung bei diesem Prozess war, dass bei den CFD-Analysen sehr unterschiedliche physikalische Modelle zu berücksichtigen waren: Die Chemie der Verbrennung, die Strömung mit Turbulenz im Ofenraum, die Wärmeübertragung (d. h. Strahlung, Konvektion und Konduktion) und das Strömungsverhalten der Schmelze. Diese Modelle verlangen – auch bei stationären

nungen – nach verschiedenen Zeitkonstanten, die erheblich auseinanderliegen können. So ist die Strömung vor allem lokal sehr schnell und benötigt kleine Zeitschritte, während die Wärmeübertragung in den Tiegel viel größere Berechnungsintervalle erlauben würde. Das Beispiel zeigt, dass mit der entsprechenden Expertise auch extrem komplexe Prozesse in einem Digitalen Zwilling abbildbar und damit vorhersehbar gemacht werden können.

In jeder Infrastruktur

Der Digitale Zwilling muss die individuellen Voraussetzungen beim Endkunden adaptieren – bei den abzubildenden Prozessen genauso wie bei der genutzten IT-Infrastruktur. Ein detailliertes Konzept zur Integration des Digitalen Zwillings in die IT-Infrastruktur ist der wichtigste Baustein bei der Umsetzung. Hier wird u.a. der Umgang mit den Sensordaten, die Echtzeit-Anforderung des Systems, die Speicherung und Darstellung der Resultate sowie Security- und Compliance-Anforderungen definiert.

Eine weitere Frage, die in einer frühen Phase beantwortet werden muss, ist die Betriebsart des Digitalen Zwillings. Grundsätzlich lässt sich der Digitale Zwilling in einem extern oder intern verwalteten Cloud-Dienst, auf Systemen im eigenen Rechenzentrum oder in der Edge in unmittelbarer Nähe des physikalischen Assets betreiben. Jede Betriebsart hat je nach Use Case und Anforderungen des Kunden ihre Vor- und Nachteile.

Bei Rauch-FT konnte ITficient auf eine extern verwaltete IoT-Plattform in der

Cloud aufsetzen. Hier werden bereits Sensordaten von Schmelztiegeln im Feld gesammelt. Die IoT-Plattform verfügt des Weiteren über Erweiterungsmöglichkeiten in Form von Microservices, die in bestehende Prozesse integriert werden können. Mithilfe dieser Technologie wurden verschiedene Microservices entwickelt, welche sich u.a. um das Laden der Sensor- und Maschinendaten, Berechnung der virtuellen Sensoren und Ausführung von Pre- und Postprocessing-Routinen kümmern. Für die Visualisierung konnte auf das in der IoT-Plattform vorhandene Dashboard-Tool zurückgegriffen werden. Somit lassen sich die verfügbaren IT-Ressourcen optimal ausschöpfen und durch die Integration des Digitalen Zwillings in die bestehende Infrastruktur entsteht auch keine Insellösung. Mithilfe eines adaptiven Sensorik-Pakets lassen sich bestehende Anlagen in kürzester Zeit nachrüsten und virtuelle Sensoren in die interaktive Cloud-Umgebung implementieren. Somit stehen auch älteren Anlagen alle Vorteile der prädiktiven Wartung zur Verfügung. Rauch-FT behält die volle Kontrolle über alle Vorgänge in der Hand, kann selbständig Digitale Zwillinge erstellen oder bearbeiten und falls nötig die implementierten Prozesse weiterentwickeln.

ITficient und CADFEM

Ein leistungsfähiger Digitaler Zwilling hat zwei wesentliche Ebenen: akkurate Simulationen und eine zuverlässige IT-Infrastruktur. Erfolgreich wird das Projekt dann, wenn beide Seiten ineinandergrei-

fen. Dies ist bei Rauch-FT auch deshalb gelungen, weil mit CADFEM und ITficient zwei Partner eingebunden wurden, die in ihrem jeweiligen Bereich viel Erfahrung mitbringen. Gleichzeitig stehen sie in engem und vertrauensvollem Austausch, sind sie doch beide als Unternehmen der CADFEM-Group auch organisatorisch eng miteinander verbunden.

Der Tiegel war erst der Startpunkt – Rauch-FT will die erworbenen Fähigkeiten zu Planung, Aufbau und Management eines Digitalen Zwillings skalieren und künftig alle relevanten Bauteile wie Dosierpumpen, Beheizungssysteme oder Umwälzpumpen und ganze Anlagen mit digitalen Lösungen zur prädiktiven Wartung zur Verfügung stellen und damit in der Gießereitechnik und bei Kunden wie Georg Fischer Maßstäbe setzen.

Diese Vision endet nicht bei den eigenen Produkten. Eine klassische Druckgießzelle besteht nicht nur aus dem Schmelzofen, sondern aus weiteren Komponenten verschiedener Hersteller. Seien es Roboter, Presse, Heiz-/Kühlgerät oder die Druckgießmaschine selbst – in der Gießerei hat beinahe jedes Bauteil das Potenzial für einen Digitalen Zwilling. Der Anfang ist gemacht!

www.rauch-ft.com

www.itficient.com

www.cadfem.net

Teresa Alberts, Geschäftsführerin, ITficient AG, Florian Sipek, Leiter Forschung & Entwicklung, RAUCH Furnace Technology GmbH, Alexander Kunz, Redakteur, CADFEM Germany GmbH, Christian Abramowski, Leiter Technik Geschäftsstelle Hannover



Über RAUCH Furnace Technology

RAUCH-FT steht für hochwertige Schmelztechnik-Lösungen für Magnesium, Zink und Nichteisenmetalle, die sich perfekt in individuelle Produktionsprozesse integrieren. Know-how aus der Forschung und Erfahrung in der Umsetzung komplexer Systeme gewährleisten Nachhaltigkeit und Ausfallsicherheit über etliche Produktionszyklen hinweg. Höchste Qualitätsansprüche bei unbedingtem Kostenbewusstsein zeichnet das Team von RAUCH-FT ebenso aus wie die vertrauensvolle, langjährige Beziehung zu Geschäftspartnern.

www.rauch-ft.com



Über ITficient

ITficient, ein Unternehmen der CADFEM Group, unterstützt Unternehmen auf ihrem Weg zu digitalen Lösungen wie der prädiktiven Wartung durch Digitale Zwillinge. Vom Einstieg bis zur Implementierung und Skalierung geht es darum, gemeinsam mit dem Kunden den besten Weg zu dessen Digitalisierungszielen zu finden und zu gehen.

www.itficient.com



Über CADFEM

CADFEM ist seit 1985 Partner von Industrie und Forschung im Bereich der numerischen Simulation und Elite Channel Partner von Ansys, Inc., dem Hersteller der gleichnamigen führenden Software. Über Datenmanagement-Lösungen, Automatisierungen, Workflows und Individualisierung durch CADFEM wird Simulation immer mehr zu einem integralen Teil eines hocheffizienten, maßgeschneiderten Digital Engineerings – beispielsweise in Digitalen Zwillingen.

www.cadfem.net/zwilling