

## Laudatio zum Georg-Sachs-Preis 2017

Herr Dr. Rettig hat an der Universität Erlangen studiert und promoviert. Herr Dr. Rettig leitete bis vor einigen Monaten die Gruppe Hochtemperaturwerkstoffe am Lehrstuhl WTM mit etwa 10 Mitarbeitern, davon 6 Doktoranden. Herr Dr. Rettig war außerdem Erlanger Geschäftsführer des SFB/TR 103 „Superlegierungs-Einkristalle“. Herr Dr. Rettig hat vor kurzem die Universität Erlangen verlassen, um eine Stelle bei dem schwedischen Unternehmen Thermo-Calc anzutreten, das sich mit numerischen Simulationen befasst.

Dr. Rettig begann seine Forschungsarbeiten im Bereich der Korrosion, hat seinen Schwerpunkt dann aber immer stärker in Richtung Legierungsentwicklung und Prozesstechnik verlagert. Es sollen hier drei Bereiche hervorgehoben werden, in denen in den letzten Jahren wichtige Publikationen und Patentanmeldungen entstanden sind. Der erste Bereich betrifft die Ausscheidung von festigkeitsbegrenzenden TCP-Phasen in Superlegierungen. Herr Rettig hat ein mathematisches Modell entwickelt, das in einer Mischung numerischer und analytischer Methoden Keimbildung und Wachstum der TCP-Phasen für Multikomponentensysteme genau beschreibt. Auf Grund niedriger Grenzflächenenergie bildet sich zunächst die  $\sigma$ -Phase; die Gleichgewichtsphasen P und  $\mu$  entstehen später. Grundlage des Vorgehens ist die CALPHAD-Methode, d.h. die im Gleichgewicht vorhandenen Phasen werden aus den thermodynamischen Daten berechnet. Zur Behandlung der Diffusionsvorgänge benutzt er den kommerziellen Code DICTRA. Um die Diffusion von Re und Ru genauer beschreiben zu können, wurde die vorhandene Mobilitäts-Datenbank um Literaturwerte ergänzt. Das Modell von Herrn Dr. Rettig berücksichtigt auch Effekte der Grenzflächenkrümmung und der Fehlpassungsspannungen. In diesem Sinne kann auch die Ostwald-Reifung gerechnet werden.

Ein besonders kritischer Punkt bei der Modellierung besteht neben den Phasengleichgewichten in der Berechnung der Diffusionsströme und der Bewegungsgeschwindigkeit der Phasengrenzfläche. Dr. Rettig geht davon aus, dass sich an der Grenzfläche zunächst Konzentrationen einstellen, die dem Flussgleichgewicht aller Legierungselemente entsprechen und nicht dem thermodynamischen Minimum. Während der Diffusion verschieben sich die Grenzflächenkonzentrationen, d.h. es kommt zu einer Konodenwanderung, in Richtung thermodynamisches Minimum, bzw. Gleichgewichtskonode. Die Rechenzeiten liegen auf einem leistungsfähigen PC bei mehreren Stunden.

Um die Ergebnisse der Modellierung mit dem Experiment abzugleichen, wird die Ausscheidung der TCP-Phasen in verschiedenen Legierungen detailliert elektronenmikroskopisch untersucht und quantitativ beschrieben. Es zeigt sich, dass die vorhandenen thermodynamischen Daten die Triebkraft für die Ausscheidung deutlich unterschätzen und korrigiert werden müssen.

Einen zweiten Bereich, in dem Herr Dr. Rettig intensiv gearbeitet hat, stellt die Entwicklung neuer Einkristall-Superlegierungen mit gesteigerter Warmfestigkeit dar. Mit dem Programmpaket MultOPT hat Herr Dr. Rettig ein numerisches Werkzeug geschaffen, das dem Legierungsentwickler hilft, vielversprechende neue Zusammensetzungen in Multikomponentensystemen zu identifizieren. Zunächst wird dem Programm ein Zusammensetzungsraum vorgegeben, der einer bestimmten Entwicklungsidee entspricht (Beispiel in Superlegierungen: Reduktion des Re-Gehaltes, um Kosten zu sparen und dafür Steigerung des Gehaltes an anderen mischkristallhärtenden Elementen). Das Programm MultOPT füllt dann den Zusammensetzungsraum nach dem Zufallsprinzip mit rund 1000 Legierungskandidaten aus. Für die Kandidaten werden als nächstes unterschiedlichste Kriterien berechnet. Kandidaten, welche die Kriterien nicht erfüllen, werden eliminiert. Beispiele für solche Kriterien sind Schmelzpunkt, Ausscheidungsgehalt, Ausscheidungsfehlpassung, Phasenstabilität, ... . Die verbleibenden besonders interessanten Zusammensetzungen werden auf die Erfüllung bestimmter Zielwerte hin untersucht. Häufig sind diese Zielwerte widersprüchlich. Zum Beispiel weisen besonders feste Werkstoffe besonders hohe Dichte auf, was unerwünscht ist. Anhand von Paretofronten können dann die vielversprechendsten Kandidaten für eine experimentelle Untersuchung ausgewählt werden.

Damit die Rechenzeiten in MultOPT bei 10 und mehr Komponenten überschaubar bleiben und tatsächlich optimale Lösungen gefunden werden, müssen fortschrittliche mathematische Methoden angewendet werden. Dr. Rettig verwendet hier modellgestützte Optimierungsverfahren, d.h. sogenannte Meta- oder Surrogat-Modelle.

Herr Dr. Rettig hat sein MultOPT-Programmpaket umfangreich experimentell validiert. Insbesondere wurden nach dem oben geschilderten Prinzip in Zusammenarbeit mit der Industrie sehr erfolgreich mehrere neue Superlegierungszusammensetzungen entwickelt, die auch schon zu Patentanmeldungen und Patenten geführt haben.

Ein dritter Bereich, dem sich Herr Dr. Rettig erst in jüngster Zeit gewidmet hat, ist die Optimierung von Wärmebehandlungen. Stichwort ist hier das Programmpaket HeatOPT. Es geht um Situationen, wo dicht am Schmelzpunkt geglüht wird, um durch Interdiffusion einen Konzentrationsausgleich zu schaffen. Der Schmelzpunkt steigt dadurch allmählich an und die Gefahr der Anschmelzung wird zurückgedrängt. Die optimale Glühung besteht dann in einer Rampe oder Treppenfunktion für die Temperatur, so dass man den Schmelzpunkt „vor sich her treibt“.

HeatOPT beruht auf Phasenfeldsimulationen mit dem kommerziellen Programm MICRESS, welche die Entwicklung des Gefüges während der Wärmebehandlung beschreiben können. Die wesentlichen berücksichtigten Einflussgrößen sind die Multikomponenten-Diffusion, die Auflösung von größeren Phasen sowie die Bildung von Anschmelzungen über Keimbildung und Wachstum. Üblicherweise dienen Mikrosondenmessungen zur Definition des

Anfangszustandes in der Simulation. Zur automatisierten Eingabe der Mikrostruktur wurden spezielle Vorgehensweisen definiert.

In den oben genannten Bereichen liegen die wichtigsten Publikationen von Dr. Rettig in jüngster Zeit. In seiner Eigenschaft als Gruppenleiter am Lehrstuhl WTM hat er sich mit einer Vielzahl weiterer Themen auseinandergesetzt, die häufig noch stärker anwendungstechnisch orientiert sind. Dazu gehören Forschungsprojekte zum Feinguss (einkristalline Erstarrung mit Wirbelbettkühlung), zum Orbitalreibschweißen und zum pulvermetallurgischen Spritzguss.

Die Dissertation von Dr. Rettig wurde mit Auszeichnung bewertet. Im Jahr 2011 erhielt Dr. Rettig außerdem den Promotionspreis des Freundeskreises der Technischen Fakultät der Universität Erlangen.

Herr Dr. Rettig zeichnet sich nicht nur durch besondere wissenschaftliche Leistungen aus, sondern er ist auch eine beispielgebende Persönlichkeit. Mit seiner besonnenen und sachlichen Art arbeiten alle gerne mit ihm zusammen. Auch wenn es einmal eng wird, behält er einen kühlen Kopf. Dr. Rettig ist seit langem beim Technischen Hilfswerk in einer herausgehobenen Funktion aktiv. Man wundert sich nicht, dass er immer wieder zu Katastropheneinsätzen herangezogen wird. Von Schweden aus wird die Anreise aber lang werden.

*Robert Singer, Erlangen*