

**Kontakt / Contact:**

Prof. Dr.-Ing. Gunther Eggeler  
Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft  
Ruhr-Universität Bochum  
D-44780 Bochum  
Tel.: +49 (0) 234 32 23022  
Fax: +49 (0) 234 32 14235  
E-Mail: [gunther.eggeler@rub.de](mailto:gunther.eggeler@rub.de)  
[www.ruhr-uni-bochum.de/ww](http://www.ruhr-uni-bochum.de/ww)

Umschlagdesign: Jungepartner.de

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

**LEHRSTUHL  
WERKSTOFFWISSENSCHAFT**

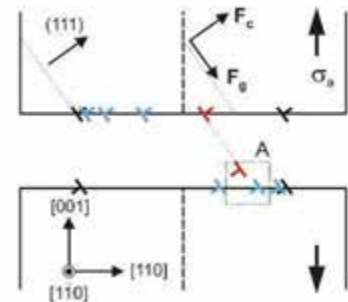
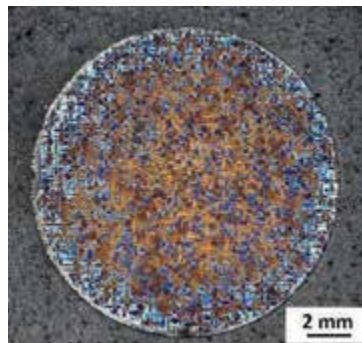
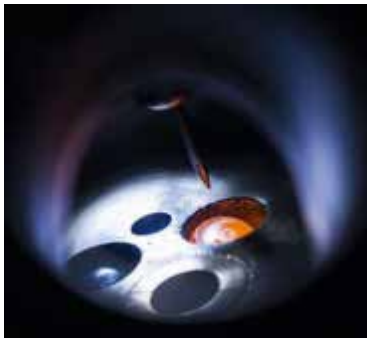
CHAIR FOR MATERIALS SCIENCE

2012 – 2020

Institut für Werkstoffe  
*Institute for Materials*

**Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft**  
*Chair for Materials Science and Engineering*

Ruhr-Universität Bochum



**2012 – 2020**

**Beiträge zu Forschung und Lehre**  
*Contributions to Research and Teaching*

Übersichtsbericht  
*Overview Summary*

bearbeitet von  
*by*

Prof. Dr.-Ing. Gunther Eggeler  
und MitarbeiterInnen / *and co-workers*

Bochum, Dezember 2020



***Kontakt/Contact***

Prof. Dr.-Ing. Gunther Eggeler  
Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft  
Ruhr-Universität Bochum  
D-44780 Bochum

Tel.: ++49 234 32 23022  
Fax : ++49 234 32 14235  
E-Mail: [gunther.eggeler@rub.de](mailto:gunther.eggeler@rub.de)

[www.ruhr-uni-bochum/ww](http://www.ruhr-uni-bochum/ww)





**Inhaltsverzeichnis*****Index***

<b>Kapitel</b>	<b>Seite</b>	<b><i>Section</i></b>	<b><i>Page</i></b>
Inhaltsverzeichnis		<i>Index</i>	
1. Vorbemerkung	1	<i>1. Preface</i>	<i>1</i>
2. Einführung	7	<i>2. Introduction</i>	<i>7</i>
3. Lehrstuhlmitglieder	15	<i>3. Members of our Chair</i>	<i>15</i>
4. Rückblick / Jahre	19	<i>4. Looking Back / Years</i>	<i>19</i>
2012	19	<i>2012</i>	<i>19</i>
2013	29	<i>2013</i>	<i>29</i>
2014	38	<i>2014</i>	<i>38</i>
2015	49	<i>2015</i>	<i>49</i>
2016	63	<i>2016</i>	<i>63</i>
2017	73	<i>2017</i>	<i>73</i>
2018	85	<i>2018</i>	<i>85</i>
2019	96	<i>2019</i>	<i>96</i>
2020	109	<i>2020</i>	<i>109</i>
5. Forschung	131	<i>5. Research</i>	<i>131</i>
5.1 Übersicht	131	<i>5.1 Overview</i>	<i>131</i>
5.2 Forschungsfelder	132	<i>5.2 Research Fields</i>	<i>132</i>
5.3 Forschungsgruppen	139	<i>5.3 Research Groups</i>	<i>139</i>
Elektronenmikroskopie	139	<i>Electron Microscopy</i>	<i>139</i>
Hochentropielegierungen	143	<i>High Entropy Alloys</i>	<i>143</i>
Stähle	145	<i>Steels</i>	<i>145</i>
Mikrostrukturinformatik	146	<i>Microstructure Informatics</i>	<i>146</i>
Polymere Werkstoffe	148	<i>Polymers</i>	<i>148</i>
Werkstoffprocessing	149	<i>Materials Processing</i>	<i>149</i>
Kriechen	150	<i>Creep</i>	<i>150</i>
6. Lehre	153	<i>6. Teaching</i>	<i>153</i>
7. Akademische Abschlüsse	171	<i>7. Academic Degrees</i>	<i>171</i>

8. Auslandsaufenthalte	181	<i>8. Travel Abroad</i>	<i>181</i>
9. Veranstaltungen	189	<i>9. Special Events</i>	<i>189</i>
10. Ehrungen, Preise, neue Aufgaben	203	<i>10. Honours, Awards, New Responsibilities</i>	<i>203</i>
11. Gäste	215	<i>11. Guests</i>	<i>215</i>
11.1 Forschungsaufenthalte	215	<i>11.1 Research Stays</i>	<i>215</i>
11.2 Kurzbesuche/Vorträge	219	<i>11.2 Short Visits/Presentations</i>	<i>219</i>
11.3 Studenten/Praktikanten	222	<i>11.3 Exchange Students/Interns</i>	<i>222</i>
12. Forschungsarbeiten	225	<i>12. Research Projects</i>	<i>225</i>
12.1 Laufende Arbeiten	225	<i>12.1 Ongoing Projects</i>	<i>225</i>
12.2 Abgeschlossene Arbeiten	240	<i>12.2 Completed Projects</i>	<i>240</i>
13. Veröffentlichungen	263	<i>13. Publications</i>	<i>263</i>
14. Anfahrt	291	<i>14. How to reach us</i>	<i>291</i>

## 1. Vorbemerkung

Hier wird über die Aktivitäten des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft ([www.ruhr-uni-bochum.de/ww](http://www.ruhr-uni-bochum.de/ww)) im Zeitraum von 2012 bis 2020 berichtet. Unser Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft (WW) gehört zum Institut für Werkstoffe (IFW) der Ruhr-Universität Bochum. Das IFW ist in der Fakultät für Maschinenbau für Werkstoffausbildung zuständig. Zum Institut für Werkstoffe gehören auch die Lehrstühle *Neue Materialien und Grenzflächen* (A. Ludwig), *Werkstoffprüfung* (M. Pohl) und *Werkstofftechnik* (W. Theisen) sowie die Professur für die *Charakterisierung mit atomarer Auflösung* (T. Li).

## 1. Preface

*This report describes the activities of the Chair for Materials Science and Engineering ([www.ruhr-uni-bochum.de/ww](http://www.ruhr-uni-bochum.de/ww)) and covers the period from 2012 to 2020. Our Chair for Materials Science and Engineering (MSE) belongs to the Institute for Materials (IFM) of the Ruhr-Universität Bochum. Within the Department for Mechanical Engineering, the IFM is responsible for materials education. Other IFM units are the Chairs for Materials Discovery and Interfaces (A. Ludwig), Materials Testing (M. Pohl), Materials Technology (W. Theisen) and Materials Characterization at Atomic Resolution (T. Li).*



**Bild 1.1:** Mitglieder von WW vor dem Gebäude ICFO, im September 2013.  
**Fig. 1.1:** Members of MSE in front of the ICFO building, in September 2013.

Externe Mitglieder des IFW sind folgende angeschlossene Professuren: Werkstoffe der Luft- und Raumfahrt (M. Bartsch, DLR Köln), Werkstoffphysik (G. Dehm,

*Several adjunct professorships support the educational programs of IFM: Materials for Aerospace Applications (M. Bartsch, DLR Cologne), Materials Phys-*

MPIE Düsseldorf), Elektronenmikroskopie von Werkstoffen (A. Dlouhy, IPM Brno, Tschechische Republik), Atomistische Werkstoffmodellierung (R. Drautz, Interdisciplinary Centre for Advanced Materials Simulation - ICAMS, RUB), Werkzeugtechnologie (C. Escher, Dörrenberg Edelstahl), Werkstoffprocessing (J. Frenzel, WW), Werkstoffdesign (E.P. George, ORNL, USA), Werkstoffmechanik (A. Hartmaier, ICAMS), Thermodynamische und kinetische Werkstoffmodellierung (I. Steinbach, ICAMS), Werkstoffoberflächen und Grenzflächen (M. Stratmann, MPIE Düsseldorf) und Keramische Werkstoffe (R. Vaßen, FZ Jülich).

*ics (G. Dehm, MPIE Düsseldorf), Transmission Electron Microscopy (A. Dlouhy, IPM Brno, Czech Republic), Atomistic Modelling (R. Drautz, Interdisciplinary Center for Advanced Materials Simulation - ICAMS), Tooling (C. Escher, Dörrenberg Edelstahl), Materials Processing (J. Frenzel, MSE), Materials Design (E.P. George, ORNL, U.S.), Mechanics and Micromechanics of Materials (A. Hartmaier, ICAMS), Thermodynamics and Kinetic Modelling of Materials (I. Steinbach, ICAMS), Interface Science and Surface Engineering (M. Stratmann, MPIE Düsseldorf) and Ceramic Materials (R. Vaßen, Research Center Jülich).*



**Bild 1.2:** Professorinnen und Professoren des Instituts für Werkstoffe, Juli 2017.

**Fig. 1.2:** *Professors of the Institute for Materials, July 2017.* V.l.n.r/LTR: E.P. George, T. Li, A. Dlouhy, G. Laplanche, A. Ludwig, G. Eggeler, M. Bartsch, R. Vaßen, W. Theisen, C. Escher.

Das IFW übernimmt die Werkstoffausbildung aller Studierenden des *Maschinenbaus*, des *Bauingenieurwesens* und der Studiengänge *Umwelttechnik* und *Re-*

*The IFM educates all Mechanical Engineers in Materials Science and Materials Technology. It also contributes to the curricula of Civil Engineering, Environmen-*

ssourcen-Management sowie Sales Engineering und Product Management. Im Maschinenbau bietet das Institut für Werkstoffe eine eigene Vertiefungsrichtung mit einem Bachelor- und einem Masterstudiengang *Werkstoff-Engineering* an. Es gestaltet außerdem eine Reihe von Wahlvorlesungen für Ingenieure anderer Fachrichtungen und für Naturwissenschaftler, die Werkstoffe im Nebenfach studieren. Gemeinsam mit den Kollegen des ICAMS bringt das IFW einen neuen Bachelorstudiengang *Materialwissenschaft* auf den Weg, der ab dem WS 2021/22 Studierende aufnimmt.

Das IFW ist einer der Träger der International Max Planck Research School for Surface and Interface Engineering of Advanced Materials (IMPRS SurMat, Sprecher: J. Neugebauer und G. Eggeler) und beteiligt sich an den dort angebotenen englischsprachigen Summer- und Winterschools für die SurMat-Doktoranden.

Gemeinsam mit ICAMS bietet das IFW einen internationalen Masterstudiengang *Materials Science and Simulation* an. Das Institut für Werkstoffe und ICAMS stehen im Zentrum des neuen SFB/TR 103 *Einkristalline Superlegierungen* und sind Träger des *Materials Research Department (MRD)* der Ruhr-Universität Bochum (Sprecher 2018-2021: G. Eggeler und R. Drautz). Sowohl in der Forschung als auch in der Lehre pflegt das IFW enge Kontakte zu allen materialwissenschaftlich orientierten Forschern der Ruhr-Universität Bochum und seinen Nachbar-Universitäten. Mit den Nachbaruniversitäten TU-Dortmund und Universität Duisburg/Essen wurde die Materialforschung als gemeinsamer Profilschwerpunkt *Materials Chain* eingerichtet.

Unter Federführung von A. Ludwig gelang es, für die Materialwissenschaftler der RUB ein neues Forschungszentrum einzuwerben, das *Zentrum für Grenzflächendominierte Höchstleistungswerkstoffe (ZGH)*. Das ZGH wurde im Herbst 2019

*tal Engineering and Sales Engineering and Product Management. Within the Department of Mechanical Engineering, the IFM offers a specific career track in Materials Engineering with dedicated bachelor and master programs. A series of optional lectures is offered for engineers from other fields and students from the natural sciences who often can integrate materials lectures into their programs. Together with ICAMS, the IFM is presently preparing a new bachelor course in Materials Science, which will start to enlist students in the winter semester 2021-22.*

*The IFM supports the International Max Planck Research School for Surface and Interface Engineering of Advanced Materials (IMPRS SurMat, spokespersons: J. Neugebauer and G. Eggeler) and participates in the summer and winter schools of this graduate program (English lectures).*

*Together with ICAMS, the IFM offers an international master course in Materials Science and Simulation. IFM and ICAMS stand in the center of the SFB/TR 103, a collaborative research center on single crystal superalloys. IFM and ICAMS are key players in the Materials Research Department of the Ruhr-Universität Bochum (spokespersons 2018-21: G. Eggeler and R. Drautz). In both research and teaching, the IFM is in close contact with all material scientists of RUB and of our neighbouring universities. Together with the Universities in Dortmund and Duisburg/Essen, the research on materials has been flagged out as a common research stronghold. Under the title of Materials Chain, we aim at strengthening materials research in the Ruhr region.*

*Under the aegis of A. Ludwig, the materials researchers from the Ruhr-Universität Bochum successfully applied for a new research center on Interface Dominated High Performance Materials (German abbreviation: ZGH). The new ZGH build-*



fertiggestellt, ab Frühjahr 2020 zogen die ersten WissenschaftlerInnen dort ein. Einen Teil seiner Arbeiten hatte das ZGH bereits in den Jahren zuvor aufgenommen. Aber erst ab Sommer 2020 besteht Zugriff auf alle ZGH-Großgeräte, von denen der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft erheblich profitieren wird, insbesondere von der Möglichkeit der hochauflösenden Elektronenmikroskopie und der Atomsondentomographie.

*ing was completed in autumn 2019, and the first group of scientists and technicians moved in in spring of 2020. The ZGH had started work in 2019, but full access to the new ZGH instruments was only available in the summer of 2020. Our Chair will hugely benefit from the new facilities, especially from access to analytical high-resolution transmission electron microscopy and atom probe tomography.*



**Bild 1.3:** Prof. em. Dr.-Ing. Erhard Hornbogen (\*2.2.1930 – †16.4.2020), Gründer des Instituts für Werkstoffe und Inhaber des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft 1967 – 1995.

**Fig. 1.3:** Prof. emeritus Dr.-Ing. Erhard Hornbogen (\* February 2, 1930 – † April 16, 2020), founder of our Institute for Materials and Head of the Chair of Materials Science and Engineering 1967 – 1995.

Unser Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft wurde von 1968 bis 1995 von Herrn Prof. em. Dr.-Ing. E. Hornbogen geleitet. Herr Hornbogen hat noch bis 2005 aktiv am Lehrstuhl geforscht. Er ist dann nach Potsdam in die Nähe der Familie seines Sohnes gezogen und lebte in den letzten Jahren in einem Seniorenwohnheim. Herr Hornbogen verstarb im April 2020 im Alter von 90 Jahren. Mit ihm verlieren wir den Gründer unseres Instituts, einen großen Werkstoffwissenschaftler und einen besonderen Menschen (Nachruf im Rückblick, Jahr 2020).

Seit der Gründung des Lehrstuhls stehen mikrostrukturelle Fragestellungen im Zentrum seiner Forschungsaktivitäten. Der Lehrstuhl hat unter der Leitung von Prof. Hornbogen eine Reihe späterer Professoren hervorgebracht oder mitgeprägt, zu denen Prof. Dr. U. Dahmen (Berkeley/USA), Prof. Dr. H. Gleiter (Karlsruhe), Prof. Dr. J. Petermann (Dortmund), Prof. Dr.-Ing. K.-H. Zum Gahr (Karlsruhe), Prof. Dr. H. Kreye (Hamburg), Prof. Dr. U. Köster (Dortmund), Prof. Dr.-Ing. G. Lütjering (Hamburg) und Prof. Dr.-Ing. K. Friedrich (Kaiserslautern) gehören. Später haben Prof. Dr.-Ing. B. Skrotzki (BAM Berlin), Prof. Dr.-Ing. A. Pyzalla (DLR, Köln), Prof. Dr.-Ing. M. Wagner (TU Chemnitz), Prof. Dr.-Ing. O. Kastner (Uni Hannover) und Prof. Dr.-Ing. J. Frenzel (RUB) am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft habilitiert.

Alle Einheiten des IFW haben im Herbst 2018 gemeinsam das 50-jährige Jubiläum des IFW in der Stadtparkgastronomie Bochum gefeiert. Es war ein großartiges Fest mit Beteiligung aller Institutsangehöriger und vieler Ehemaliger. Es gab hochkarätige wissenschaftliche Vorträge und eine schöne Abendveranstaltung, bei der auch des 75sten Geburtstages unseres Kollegen Pohl gedacht wurde.

Dies ist ein Aktivitätsbericht des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft. Ohne die

*From 1968 to 1995, our Chair was headed by Prof. emeritus Dr.-Ing. E. Hornbogen. After his retirement, Prof. Hornbogen was actively involved in research until 2005, when he moved to Potsdam to be close to his son's family. He kept in contact with the institute and spent the last five years in a retirement home. He passed away, age 90, in April 2020. With him, we lose the founder of our institute, a leading materials scientist and an exceptional person. An obituary can be found in the section "Looking Back" of this report (2020).*

*Since its founding, the central research objective of the Chair was to perform research on the microstructure of materials. During the time of Prof. Hornbogen, a number of researchers from RUB have followed an academic career, including Prof. Dr. U. Dahmen (Berkeley/U.S.), Prof. Dr. H. Gleiter (Karlsruhe), Prof. Dr. J. Petermann (Dortmund), Prof. Dr.-Ing. K.-H. Zum Gahr (Karlsruhe), Prof. Dr. H. Kreye (Hamburg), Prof. Dr. U. Köster (Dortmund), Prof. Dr.-Ing. G. Lütjering (Hamburg) and Prof. Dr.-Ing. K. Friedrich (Kaiserslautern). Later, Prof. Dr.-Ing. B. Skrotzki (BAM, Berlin), Prof. Dr.-Ing. A. Pyzalla (DLR, Köln), Prof. Dr.-Ing. M.F.-X. Wagner (TU Chemnitz), Prof. Dr.-Ing. O. Kastner (University of Hannover) and Prof. Dr.-Ing. J. Frenzel (RUB) qualified as professors and took on research positions at universities and research institutes.*

*All IFM units jointly celebrated the 50<sup>th</sup> anniversary of the IFM. A symposium was held in Stadtparkgastronomie Bochum. There was a two-day celebration with scientific presentations from members of the institute and from alumni. A dinner was held with music provided by the IFM band, and the 75th birthday of our colleague Michael Pohl was celebrated.*

*The present report focuses on the activities of our Chair. But without the scientific and institutional environment, which*

hier kurz umrissenen Einbindungen in ein so attraktives Umfeld hätten wir nicht so erfolgreich arbeiten können.

*has been briefly described in this first section, we could not have worked as successfully as we did.*



**Bild 1.4:** Der Dekan der Fakultät Maschinenbau, Roland Span, gratuliert Michael Pohl zum 75sten Geburtstag (anlässlich des 50-jährigen Jubiläums des Instituts für Werkstoffe).

*Fig. 1.4: The Dean of the Department of Mechanical Engineering, Roland Span, wishes Michael Pohl a happy birthday (on the occasion of the 50<sup>th</sup> Anniversary of the IFM – Michael Pohl turned 75).*

## 2. Einführung/Überblick

Dieser Bericht gibt eine Übersicht über Forschung und Lehre am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft (WW) in den Jahren 2012 bis 2020. Es ist unser dritter Aktivitätsbericht, davor hatten wir über die Jahre 1995-2005 und 2006-2011 berichtet.

Als interdisziplinäre Fachrichtung ist die Wissenschaft von den Werkstoffen für die Bereiche Energie, Transport, Gesundheit und Umwelt wichtig. Es gibt verschiedene Schnittmengen mit diesen Feldern, zu denen zum Beispiel die Hochtemperaturwerkstoffe (Energie und Transport) und die Formgedächtniswerkstoffe (Transport, Gesundheit und Umwelt) gehören. Bei WW werden Materialfragen aus diesen Bereichen in der Forschung besonders intensiv bearbeitet. Die Wissenschaft von den Werkstoffen hat außerdem eine natürliche Nähe zu Biomaterialien, zur Mikrosystemtechnik und zur Nanotechnologie.

Das Tagesgeschäft unseres Lehrstuhls im Berichtszeitraum wurde maßgeblich durch folgende Ereignisse geprägt:

Den Umzug aus dem alten Gebäude IA in unser neues Gebäude ICFO im Jahr 2013.

Zwei DFG-Begutachtungen des SFB/TR 103, in dem es um einkristalline Superlegierungen geht, in den Jahren 2015 und 2019. Mit Hilfe aller beteiligten KollegInnen konnten wir diese erfolgreich hinter uns bringen. Beteiligt waren neben den MaterialwissenschaftlerInnen des IFW und des ICAMS der RUB auch Kollegen von der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, vom MPIE Düsseldorf, vom FZ Jülich und von der DLR Köln. Gegen Ende dieses Berichtszeitraums haben wir von der DFG das Bewilligungsschreiben erhalten, das uns eine weitere vierjährige Förderung für die Jahre 2020 bis 2023 in Aussicht stellt.

## 2. *Introduction/Overview*

*This report describes the activities of our Chair for Materials Science and Engineering (MSE) in the period from 2012 to 2020. It is our third extended activity report, after we had issued accounts for the periods 1995-2005 and 2006-2011.*

*As an interdisciplinary field of study, the science of materials is important to the engineering fields of energy supply, transportation, health and environmental technology. Our research activities on high-temperature materials (energy and transportation) and shape memory materials (transportation, health and environmental technology) contribute to these fields. Questions related to materials arising from these areas are the subject of research at MSE. In addition, the science of materials has a natural affinity to biomaterials, microsystem technology and to nanotechnology.*

*Our daily work in the reporting period was strongly impacted by a number of key events:*

*Our relocation from the old (IA) into our new building (ICFO) in 2013.*

*Two assessments of our collaborative research center SFB/TR 103 on single crystal superalloys in 2015 and 2019. With the help of all colleagues who participate in this center, we managed to pass these assessments successfully. RUB material researchers from IFM and ICAMS collaborate in SFB/TR 103 with partners from Friedrich-Alexander University Erlangen Nürnberg, from MPIE Düsseldorf, from the Research Center Jülich and from DLR Cologne. At the end of this reporting period, we received the approval letter from our national funding agency DFG, stating that we will be funded for another 4 years (2020-2023).*

Wir haben an drei von der DFG geförderten Schwerpunktprogrammen (SPP) teilgenommen, dem SPP 1599 (Ferroic Coolig), dem SPP 1713 (Strong coupling of thermo-chemical and thermo-mechanical states in applied materials) und dem SPP 2006 (Compositionally complex alloys – High-entropy alloys).

*We participated in three DFG-funded Priority Programs (PPs), the PP 1599 on ferroic cooling, the PP 1713 on strong coupling of thermo-chemical and thermo-mechanical states in engineering materials as well as the PP 2006 on compositionally complex alloys (also referred to as high-entropy alloys).*



**Bild 2.1:** Teilnehmer des Symposiums zu Ferroic Cooling im Februar 2017.  
**Fig.2.1:** *Participants in the Ferroic Cooling Symposium in February 2017.*

Wir waren auch Mitglied der DFG-Forschergruppe FOR 1766, in der es um Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen ging, wobei wir insbesondere am System Ti-Ta gearbeitet haben.

*We also participated in the DFG-funded research group FOR 1766, which worked on new high-temperature shape memory alloys with a special focus on the system Ti-Ta.*

Es gab DFG-geförderte Einzelprojekte zum Hochtemperaturverschleiß und zu Hochentropielegierungen. Mit unseren Industriepartnern arbeiteten wir zu verschiedenen Themen zusammen (Dillinger Hütte: Entwicklung der Mikrostruktur von

*There were DFG projects on high-temperature wear and on high-entropy alloys. Together with our partners from industry, we worked on a number of intriguing topics. With Dillinger Hütte, we investigated the evolution of the micro-*



Grobblechen entlang der Prozesskette, Siemens Berlin: Kriechverhalten additiv gefertigter Superlegierungen, MTU München: Mikromechanik von TiAl, VDM Werdohl: Entwicklung einer neuen Hochtemperatur Ni-Basis-Schmiedelegierung und Ingpuls Bochum (unserem erfolgreichen Spin-Off): verschiedene Projekte zur Werkstofftechnik von Formgedächtnislegierungen.

*structure in heavy plate steel along the processing chain. With Siemens Berlin, on the creep behavior of additively manufactured Ni-base superalloys; with MTU Munich, on the micromechanics of a new TiAl-alloy; and with VDM, on the development of a new wrought Ni-base superalloy. We closely collaborate with Ingpuls, our successful spin-off company, on different shape memory technology projects.*



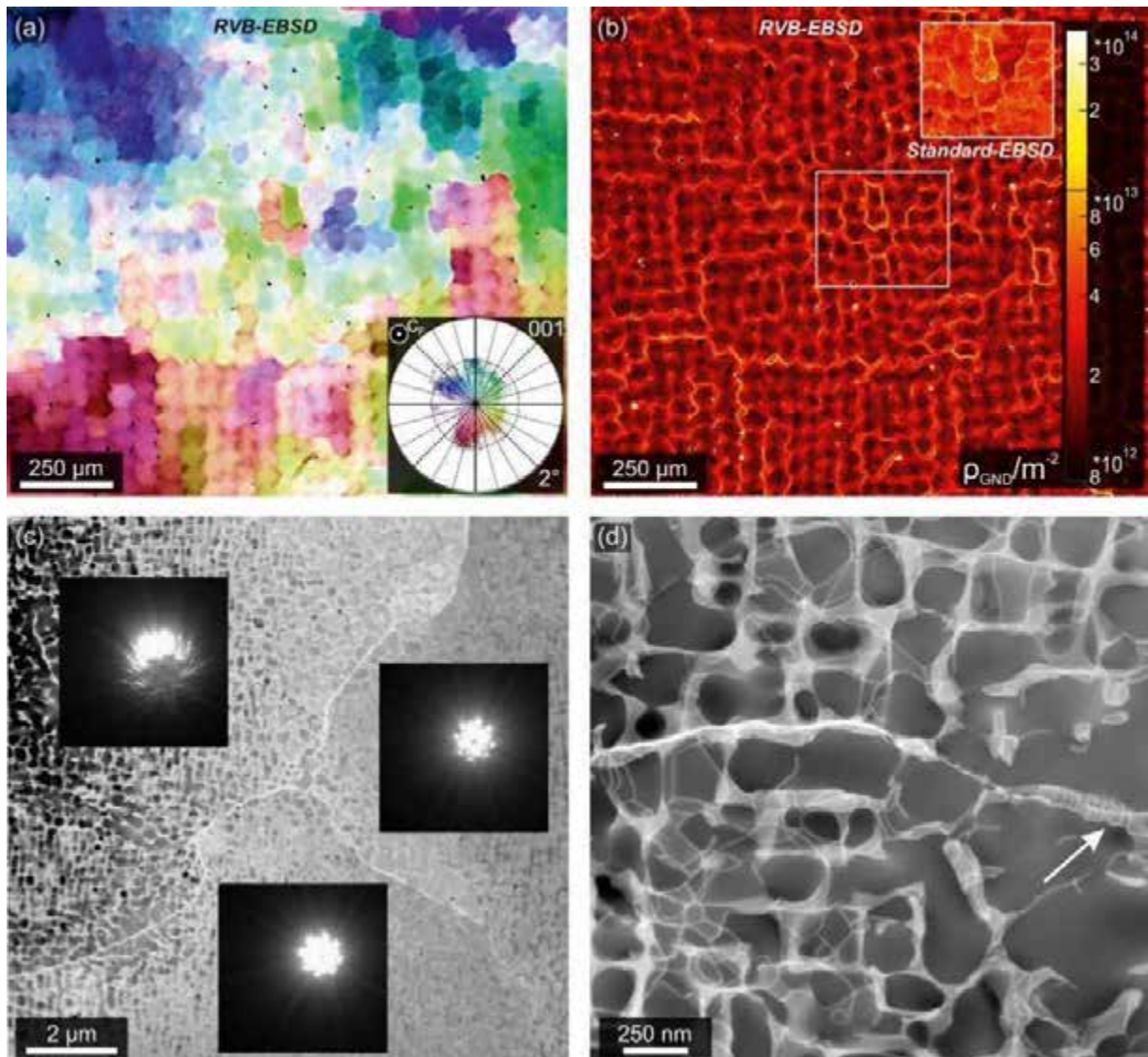
**Bild 2.2:** Seminar zu Formgedächtnistechnik gemeinsam mit Ingpuls-Mitarbeitern im Dezember 2018.

*Fig. 2.2: Shape memory technology seminar together with members of Ingpuls in December 2018.*

An der RUB haben wir intensiv an der Einrichtung des neuen Zentrums für Grenzflächendominierte Höchstleistungswerkstoffe mitgewirkt und federführend drei Großgeräteanträge gestellt, darunter einen für ein hochauflösendes,  $c_s$ -korrigiertes analytisches Durchstrahlungselektronenmikroskop. Auf Lehrstuhlebene wurden ein neues Raster- und ein neues Durchstrahlungselektronenmikroskop als Ersatz für die beiden Altgeräte beschafft. Außerdem wurden ein Hochtemperaturtribometer und eine Zugprüfmaschine für hohe Temperaturen angeschafft und eingefahren.

*At RUB, we took part in establishing the new Center for Interface Dominated High Performance Materials (German abbreviation: ZGH). For ZGH, we wrote several proposals for an analytical  $c_s$ -corrected transmission electron microscope (TEM); for an analytical scanning electron microscope (SEM); and for a focused ion beam (FIB). In our group, we replaced the TEM CM20 (from 1992) and our old Jeol SEM (from 1995) by two new microscopes, which are both up and running. We also acquired a high-temperature tensile test rig and a high-temperature tribometer.*





**Bild 2.3:** Mikrostrukturelle Bilder von additiv gefertigten einkristallinen Superlegierungen (Herstellung: C. Körner, FAU Erlangen). (a) Orientierungsabbildende Rasterelektronenmikroskopie mit einem neuem, an unserem Lehrstuhl von Pascal Thome entwickelten EBSD-Verfahren. (b) Umrechnung der EBSD-Daten in Dichten geometrisch notwendiger Versetzungen. (c) und (d): Unterstützende STEM-Aufnahmen. Publiziert in Ultramicroscopy 2019.

**Fig. 2.3:** Microstructural images of additively manufactured single crystal superalloys (processing: C. Körner, FAU Erlangen). (a) Orientation imaging scanning electron micrograph (color coded image) obtained with a new high-resolution EBSD method developed by Pascal Thome. (b) Interpretation of EBSD data in terms of geometrically necessary dislocations. (c) and (d) Supporting STEM work. Published in Ultramicroscopy 2019.

In der Lehre vertreten wir im Maschinenbau die Vertiefungsrichtung *Werkstoff- und Microengineering*. Wir tragen den englischsprachigen Masterstudiengang des ICAMS (Materials Science and Simulation) mit. Wir sind auch in die Lehre der International Max-Planck Research

*Our teaching activities include a bachelor and master program in Materials and Micro Engineering. We assist our colleagues from ICAMS in their master program of Materials Science and Simulation. We also take part in the curricula of the International Max Planck Research*

School SurMat eingebunden. Gemeinsam mit den Kollegen des ICAMS haben wir Vorüberlegungen zu einem neuen, grundständigen Bachelorstudiengang Materialwissenschaft abgeschlossen, der im WS 2021/22 beginnen soll.

Im Berichtszeitraum 2012-2020 konnte der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft sehr erfolgreich arbeiten. Deshalb hier ein Dank an alle, die dazu beigetragen haben. Dies gilt vor allem für alle MitarbeiterInnen des Lehrstuhls. Mein Dank richtet sich auch an alle externen Kräfte, die uns geholfen haben, unsere Ziele zu erreichen. Wir danken

- der Ruhr-Universität Bochum (RUB), die uns immer hervorragend unterstützt hat, dies gilt für alle MitarbeiterInnen der zentralen Universitätsverwaltung, die wir hier nicht alle nennen können. Insbesondere danken wir den Rektoren E. Weiler und A. Schölmerich, die die Ruhr-Universität im Berichtszeitraum geleitet haben, den Prorektoren für Forschung U. Eysel und A. Ostendorf, dem Altkanzler G. Möller und unserer neuen Kanzlerin Frau C. Reinhardt;

- der Fakultät für Maschinenbau der Ruhr-Universität Bochum, der unser Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft angehört, und insbesondere den Dekanen W. Theisen, R. Span und M. Petermann sowie H. Grote und seinen Mitarbeiterinnen im Dekanat;

- meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut für Werkstoffe, M. Bartsch (DLR), G. Dehm (MPIE), A. Dlouhy (IPM Brno), R. Drautz (ICAMS), A. Hartmaier (ICAMS), T. Li, G. Laplanche, A. Ludwig, M. Pohl, I. Steinbach (ICAMS), W. Theisen, R. Vaßen (FZ Jülich) und V. Yardley für ein ausgezeichnetes Arbeitsklima;

- allen Kolleginnen und Kollegen, mit denen wir gemeinsam forschen konnten. Das gilt insbesondere für die Erlanger MaterialwissenschaftlerInnen, ohne die

*School SurMat and, together with our colleagues from ICAMS, we are preparing a new bachelor program dedicated to Materials Science, which is scheduled to start in the winter semester 2021-22.*

*In the reporting period of 2012-2020, we were able to achieve many of our objectives. This is why we would like to thank all those who have contributed to this success. This applies to all members of our group. But we would also like to express our gratitude to the institutions and people from outside who have helped. We would like to thank*

*- the Ruhr-Universität Bochum (RUB), where we have always had excellent support from many members of our administration, whom we cannot all name here. Special thanks go to the rectors E. Weiler and A. Schölmerich, who stood at the helm of RUB in the reporting period. We would also like to thank the two pro-rectors for research U. Eysel and A. Ostendorf as well as the two chancellors G. Möller and C. Reinhardt. They supported our activities wherever they could;*

*- our Department of Mechanical Engineering, to which our Chair belongs, and especially the deans in charge, W. Theisen, R. Span and M. Petermann. We also received great support from H. Grote and his collaborators in the dean's office;*

*- my colleagues from our Institute of Materials for an excellent working atmosphere: M. Bartsch (DLR), G. Dehm (MPIE), A. Dlouhy (IPM Brno), R. Drautz (ICAMS), A. Hartmaier (ICAMS), T. Li, G. Laplanche, A. Ludwig, M. Pohl, I. Steinbach (ICAMS), W. Theisen, R. Vaßen (FZ Jülich) and V. Yardley;*

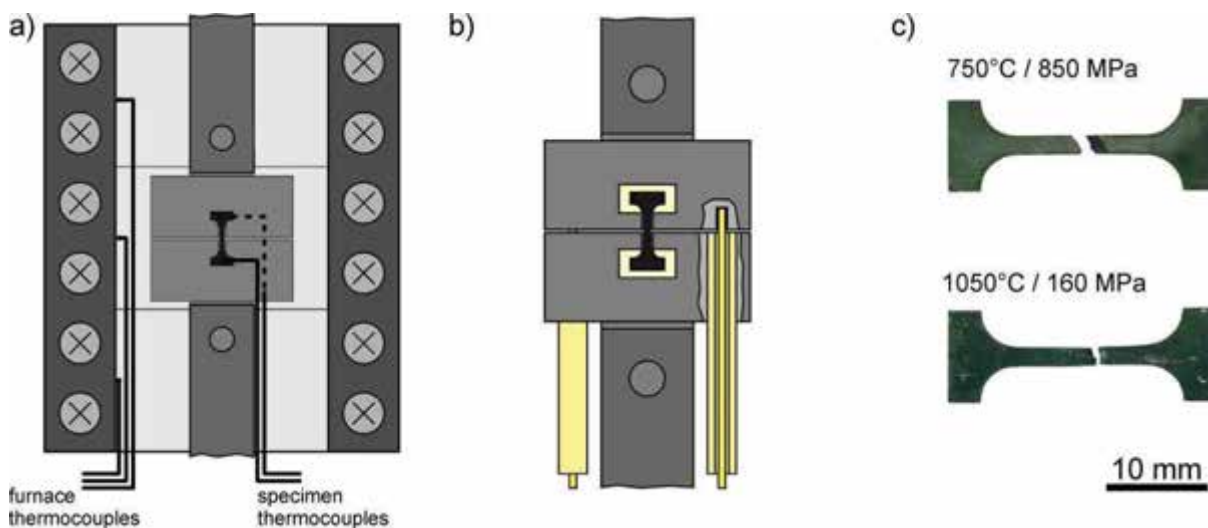
*- all colleagues with whom we collaborated in our research projects. This holds true especially for the materials scientists from the University of Erlangen, with*

unser Superlegierungs-SFB/TR 103 nicht so gut laufen würde. Man müsste sie hier alle aufzählen, ich nenne hier stellvertretend nur C. Körner, die stellvertretende Sprecherin des SFB/TR 103. Nennen möchte ich hier S. Seelecke von der Uni Saarbrücken für seine führende Rolle in der Forschung zum Ferroic Cooling mit Formgedächtnislegierungen und H.J. Maier von der Uni Hannover für die Leitung unserer Forschergruppe zu Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen;

- allen Kolleginnen und Kollegen vom MPIE Düsseldorf, wo ich eine Forschergruppe zu Hochtemperaturwerkstoffen leite, mit denen einige schöne gemeinsame Publikationen entstanden sind und mit

*whom we run the collaborative research center SFB/TR 103. All project partners from Erlangen contributed to our success, especially C. Körner, who co-ordinates the activities in Erlangen. I would like to thank S. Seelecke from the University of Saarbrücken for the leading role he took on in our project on Ferroic Cooling with Shape Memory Alloys. H. J. Maier from the University of Hannover organized our common research project on high-temperature shape memory alloys;*

*- all colleagues from the Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf (MPIE), where I am in charge of a small research group on high-temperature materials. The good collaboration has led to*



**Bild 2.4:** Ein wichtiges Element unserer Forschung in unserem Superlegierungs-SFB/TR 103: Kriechversuche mit Miniaturkriechproben. Veröffentlicht in *Materials at High Temperatures* 2018.

**Fig. 2.4:** *An important element of our superalloy research in SFB/TR 103: Creep testing with miniature tensile creep specimens. Published in Materials at High Temperatures 2018.*

denen wir auf eine langjährige erfolgreiche Zusammenarbeit in der Lehre im Rahmen der International Max-Planck Research School SurMat zurückblicken können, die von Frau E. Gattermann koordiniert wird. Insbesondere G. Dehm, B. Gault, C. Kirchlechner, J. Neugebauer, F. Roters, D. Raabe S. Zaeferrer sind uns immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden;

*quite a number of research publications. Within the Max-Planck Research School SurMat, we have collaborated successfully for many years, coordinated by Mrs. E. Gattermann. Especially B. Gault, G. Dehm, C. Kirchlechner, J. Neugebauer, F. Roters, D. Raabe and S. Zaeferrer were always helpful and gave good scientific advice when we needed it;*

- allen unseren wissenschaftlichen Freunden aus dem In- und Ausland, die wir besuchen konnten und die uns besucht und mit uns gearbeitet haben. Wir können sie hier nicht alle nennen, stellvertretend seien hier C. Rae von der Uni Cambridge, M. Mills von der Ohio State University und J. Pons von der Universität der Balearen erwähnt;

- der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM), der deutschen physikalischen Gesellschaft (DPG), der deutschen Gesellschaft für Elektronenmikroskopie (DGE), der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), den NRW Ministerien für Kultur und Wissenschaft und für Wirtschaft, Digitalisierung, Innovation und Energie und dem Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung (BMBF);

- allen Kolleginnen und Kollegen unseres Fachgebiets, die uns immer dann, wenn es notwendig und wichtig war, geholfen haben;

- unseren Partnerinnen und Partnern aus den F&E-Laboren der Industrie und allen anderen, die uns unterstützt haben.

Anerkennungen durch Fachkolleginnen und -kollegen stellen für jede/n Wissenschaftler/in eine besondere Ehre dar. Deshalb habe ich mich über den Hsun Lee Lecture Award der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (Shenyang, 2013) und über die Ernst Mach Medaille der Tschechischen Akademie der Wissenschaften (Prag, 2014) und über die Heyn-Denk Münze der DGM (2020) sehr gefreut. Auch unsere NachwuchswissenschaftlerInnen erhielten eine Reihe von Preisen, zu denen die Best Poster Awards von D. Bürger und X. Wu (FEMS Junior Euromat 2016, Lausanne), P. Thome (ESOMAT 2015, Antwerp und RMS EBSD 2015, Glasgow), M. Schneider (ICSMA 18, Columbus), L. Heep

*- all our scientific friends from Germany and from all over the world, whom we could visit and who have worked with us. There are too many to mention them all here, so we can only single out a few, including C. Rae from Cambridge, M. Mills from The Ohio State University and J. Pons from the University of the Balearian Islands;*

*- the German National Funding Agency (DFG), the German Society for Materials (DGM), the German Society of Physics (DPG), the German Society for Electron Microscopy (DGE), the German Aerospace Center (DLR), the Max Planck Society (MPG), the Research Center Jülich (FZ Jülich), the state ministries of North Rhine-Westphalia for Culture and Sciences as well as for Innovation, Digitization and Energy and the Federal Ministry of Education, Sciences and Research (BMBF);*

*- all colleagues from academia in our research field, who have helped us when we needed support and when it was important;*

*- our partners from the R&D laboratories from industry who worked with us and all others who supported us.*

*For every scientist, the recognition by the scientific community constitutes a special honor. Therefore I was very pleased when I received the Hsun Lee Lecture Award of the Chinese Academy of Sciences (Shenyang, 2013), the Ernst Mach medal of the Czech Academy of Sciences (Prague, 2014) and the Heyn medal by DGM (2020). Our young materials researchers also worked very successfully. We received a number of poster awards at international conferences: P. Thome for his EBSD work (ESOMAT 2015, Antwerp, and RMS EBSD 2015, Glasgow), D. Bürger and X. Wu for the creep research in superalloys (FEMS Junior Euromat 2016, Lausanne), M. Schneider for his high-entropy alloy work (ICSMA 18, 2018), L.*



(PRICM-10, 2019) und C. Pineda Heresi (MSE 2020) gehören. Unsere Auszeichnungen und Erfolge spiegeln die Leistung aller MitarbeiterInnen des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft wider, denen ich hier noch einmal ganz herzlich für ihren Einsatz und für ihre Unterstützung danke. Dies gilt auch für unsere Studierenden, die als Hilfskräfte im Tagesgeschäft und mit ihren wissenschaftlichen Arbeiten entscheidende Beiträge liefern.

Unser neuer Forschungsbau ZGH war im Frühjahr 2020 bezugsfertig. Hier haben wir Zugriff auf eine Atomsonde, ein hochauflösendes TEM, eine 2-Strahl FIB, ein analytisches Rasterelektronenmikroskop und eine Röntgen-Computertomographie. Aufgrund aller positiven Entwicklungen im Berichtszeitraum und mit Blick auf die neuen Möglichkeiten, die das ZGH bietet, schauen wir zuversichtlich in die Zukunft, für die ich den Leserinnen und Lesern dieses Berichtes alles Gute wünsche. Glückauf!

*Heep (PRICM-10, 2019) and C. Pineda Heresi (MSE 2020). These distinctions reflect the efforts of all members of our group, and I would like to take this opportunity to thank them most warmly once again. This also applies to our students who, during their jobs as student assistants and through their student projects, bachelor and master theses, drive forward our research.*

*In the spring of 2020, we moved into the building of our new research center ZGH. Here we have access to a 3D atom probe, a two-beam FIB, a high-resolution TEM, a high-resolution analytical SEM and to a high-resolution X-ray computertomography. In view of all the positive developments over the last few years and especially given the new possibilities that the ZGH will provide, we are looking very confidently toward the future. I would like to wish our readers all the best, or as we like to say here: Glückauf!*



**Bild 2.5 / Fig. 2.5:**  
Prof. Dr.-Ing. Gunther Eggeler  
Bochum, Dezember 2020/December 2020.

**3. Lehrstuhlmitglieder**

Hier sind alle diejenigen Mitglieder unseres Lehrstuhls aufgelistet, die im **Dezember 2020** aktiv waren. Außerdem führen wir diejenigen auf, die im Berichtszeitraum bei WW aktiv waren und uns verlassen haben. Eine aktuelle Liste der Mitglieder kann auf unserer Internetseite eingesehen werden.

**3. Members of our Chair**

*Here we list all members of our Chair who were active in **December 2020**. Moreover, we list all those, who worked at MSE and left our Chair in the reporting period. Our up to date web page lists all active members.*

**Internetseite des Lehrstuhls WW*****web page of our Chair***

<http://www.ruhr-uni-bochum.de/ww>

**Telefon WW****e-mail:****phone MSE**

0234 32 - 23022

++49 234 32 - 23022

**Leitung*****director***

Prof. Dr.-Ing. Gunther Eggeler

[gunther.eggeler@rub.de](mailto:gunther.eggeler@rub.de)

-23022

**Lehrstuhlsekretariat WW*****secretary MSE***

Suzana Römer

[suzana.roemer@rub.de](mailto:suzana.roemer@rub.de)

-23022

**weitere Professoren*****other professors***

Apl. Prof. Dr.-Ing. Jan Frenzel

[jan.a.frenzel@rub.de](mailto:jan.a.frenzel@rub.de)

-22547

**Akademische Räte*****(permanent) academic staff***

Dr. rer. nat. Klaus Neuking

[klaus.neuking@rub.de](mailto:klaus.neuking@rub.de)

-24024

Dr. rer. nat. Christoph Somsen

[christoph.somsen@rub.de](mailto:christoph.somsen@rub.de)

-26041

Dr. Guillaume Laplanche

[guillaume.laplanche@rub.de](mailto:guillaume.laplanche@rub.de)

-25902



**SFB-Sekretariat*****SFB secretary***

Frank Smetz

frank.smetz@rub.de

-25917

**wissenschaftliche MitarbeiterInnen*****academic staff***

Alex Asabre (alex.asabre@rub.de), Alireza Basir Parsa (alireza.basirparsa@rub.de, -28982), David Bürger (david.buerger@rub.de, -29109), Hakan Dumlu (hakan.dumlu@rub.de), Larissa Heep (larissa.heep@rub.de -27349), Oliver Horst (oliver.horst@rub.de, -29343), Julian Hunfeld (julian.hunfeld@rub.de, -28432), Yordan Kalchev (yordan.kalchev@rub.de, -25999), Axel Marquardt (axel.marquardt@rub.de, -26569), Oluwaseyi Oluwabi (oluwaseyi.oluwabi@rub.de), Catalina Pineda Heresi (Sara.PinedaHeresi@rub.de, -29109), David Piorunek (david.piorunek@rub.de, -22040), Christian Reinhart (christian.reinhart@rub.de, -25633), Alexander Richter (alexander.richter@rub.de, -27898), Mike Schneider (mike.schneider@rub.de, -27349), Felicitas Scholz (felicitas.scholz@rub.de, -23085), Yucen Shen (yucan.shen@rub.de, -25934), Marc Sirrenberg (marc.sirrenberg@rub.de), Pascal Thome (pascal.thome@rub.de, -27898), Hongcai Wang (hongcai.wang@rub.de, -25960);

**technische MitarbeiterInnen*****technicians***

Marius Bienek (marius.bienek@rub.de, -22543), Fabian Braun (fabian.braun@rub.de, -22549), Jonathan da Cruz (jonathan.dacruz@rub.de, -25549) Stefan Demuth (stefan.demuth@rub.de, -27430), Meinert Hansen (meinert.hansen@rub.de, -25935), Susanne Jordans (susanne.jordans@rub.de, -25920), Norbert Lindner (lindner@wp.rub.de, -25960), L, Marcel Peucker (marcel.peucker@rub.de, -22549), Clara Pohl (clara.pohl@rub.de, -25903), Dietmar Rose (dietmar.rose@rub.de, -25935), Denis Stratmann (denis.stratmann@rub.de, -25916), Kornelia Strieso (kornelia.strieso@rub.de, -25903);

**Studenten/Studentinnen (SHKs)*****student assistants***

Charlotte Aust (charlotte.aust@rub.de), Parham Gemagami (parham.gemagami@rub.de), Benno Gillet (benno.gillet@rub.de), Gihad Hammoud (gihad.hammoud@rub.de), Muhammad Umair Hassan (muhammad.hassan@rub.de), Niklas Maier (jan.maier@rub.de), Elizabeth Mathew (elizabeth.mathew@rub.de), Hannah Mittag (hannah.mittag@rub.de), Maik Rajkowski (maik.rajkowski@rub.de), Phil Saddei (phil.saddei@rub.de), Alexander Schlüter (alexander.schlueter@rub.de), Nick Scharnagel (nick.scharnagel@rub.de), Isabell Schlitte (isabell.schlitte@rub.de), Tim Storch (tim.storch@rub.de), Jonathan Streitberger (jonathan.streitberger@rub.de), Louisa Vennhoff (louisa.vennhoff@rub.de), Felicitas Werner (felicitas.werner@rub.de), Alexander Wolf (alexander.wolf@rub.de);

**WW haben verlassen*****left our Chair***Wiss. Mitarbeiter(innen)/academic staff:

Leonardo Agudo, Sondre Berglund, Thorsten Birk, Hinrich Buck, Miguel A. Callejas, Lijie Cao, Timo Depka, Adeline Durand, Mahmut Ersanli, Shirin Fahimi, Florian Fox, Christian Großmann, Philipp Hallensleben, Jenna-Kathrin Heyer, Stefanie Jaeger, Elisa Janzen Kassab, Aleksander Kostka, Dennis Langenkämper, Burkhard Maaß, Safa Mogharebi, Philipp Nörtershäuser, Alexander Paulsen, Janine Pftzing-Micklich, Mustafa Rahim, Christopher Rynio, Ramona Rynko, Andreas Schäfer, Tobias Simon, Hannah Sommer, Alexander Straumal, André Wieczorek, Nikolai Wieczorek, Philip Wollgramm, Xiaoxiang Wu, Victoria Yardley, Jian Zhang;

Techniker/technicians:

Peter Anlauf, Jutta Bosse, Fabian Braun, Romina Köntges, Hartmut Lehky, Timm Mayer, Heinz Nöcker, Michael Schlösser, Marvin Hildebrandt, Lukas Oehmke;

Diplom- und Masterabschlüsse/Dipl.-Ing. and MSc. graduates:

S. Berglund, C. Bonnekoh, M. Cevik, P. Decker, Y. Dieudonné, M. Ersanli, A. Fakih, F. Ibrahimkhel, A. Kazuch, D. Kotzem, P. Frowein, S. Hakimzada, M. Hilleringmann, F. Maci, C. Maihöfer, S. Maihöfer, S. Medgalchi, K. Mirheli, S. Mogharebi, R. Ose, N. Rezanka, R. Schulz, S.K. Shahid, N. Stötzel, M. Tian, M. Tyschkowski, U. F. Volkert, F. Wöhrle, J. Zglinski, E. Zieselski;

Bachelor-Abschlüsse/Bachelor graduates:

F. Civak, J. Freund, J. Hiebeler, C. F. Klein, M. Rajkowski, A. Shalabi, A. Siemund;

Studenten (SHKs)/student assistants:

P. C. Alfaro, R. Baygin, S. Berglund, J. Boueke, K. Burow, D. Bürger, L. Callaku, V. Chen-nuri, F. Civak, A. Derin, H. Dumlu, V. Firley, F. Fox, O. Gawlik, P. Gemagami, M. MD Golam, J. Hahn, M. Hahn, S. Hakimzada, L. Heep, O. Heyer, M. Holtkamp, O. Horst, J. Hunfeld, F. Ibrahimkhel, D. Ivanova, Y. Kalchev, A. Karami, M. Kashmala, L. Klobuschinski, S. Kowalzick, R. Lemming, F. Maci, S. Maihöfer, A. Marquardt, S. Medgalchi, K. Mirheli, A. Neumeister, L. Ninnemann, E. Norouzi, O. Oluwaseyi, A. Paulsen, W. Perez Villa, D. Piorunek, U. Rehman, C. Reinhart, A. Richter, K. Schmidt, P. Schmitt, M. Schneider, S. Shahid, S. Shishkin, A. Siemund, M. Sirrenberg, N. Stötzel, F. Süßmann, I. Thiere, P. Thome, D. Uibel, S. Usman, N. Wochmjakov, S. Wu, S. Zarnoh, B. Zejnnullahu.



**Bild 3.1:** Mitglieder des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft, September 2016. **Fig. 3.1:** *Members of the Chair for Materials Science and Engineering in September 2016.*



#### 4. Rückblick

Im Folgenden wollen wir einige besondere Ereignisse hervorheben, die uns beschäftigt haben und die den Zeitraum, den dieser Aktivitätsbericht abdeckt, geprägt haben.

##### 2012:

**Lehrstuhlexkursion München und Reutte:** Zu Beginn des Berichtszeitraums ging im Februar 2012 unsere Lehrstuhlexkursion, die unsere Frau Römer wieder hervorragend organisiert hatte, nach München. Dort besuchten wir auf der Hinfahrt die MTU München, wo uns Herr J. Gabel, der auch als Mitglied des technisch/akademischen Beraterkreises unseres SFB/TR 103 wirkt, als Gastgeber empfing. Wir waren im Verlauf des 21. Februar vormittags angereist und hatten die Gelegenheit, die Labors der dynamischen Werkstoffprüfung zu besichtigen. Nach einem Mittagessen in der Kantine der MTU präsentierte Herr Gabel die Aktivitäten seiner Firma.

#### 4. Looking Back

*In this section, we keep track of the events that have shaped and characterized the reporting period covered by this activity report.*

##### 2012:

***Excursion to Munich and Reutte:** In February 2012, the excursion of our Chair, superbly organized by our Ms. Römer, took us to Munich. On the way there, we visited the MTU facilities in Munich, where we were welcomed by our host Mr. J. Gabel, who is also a member of the technical and academic advisory board of our SFB/TR 103. We arrived in late morning of Tuesday February 21 and took advantage of the opportunity to visit the dynamic materials testing laboratories. After lunch in MTU's canteen, Mr. Gabel presented his company's activities.*



**Bild 4.1:** Kornelia Strieso und Susanne Jordans im Ausstellungszentrum der MTU, 2012.  
*Fig. 4.1:* Kornelia Strieso and Susanne Jordans in the exhibition center of MTU, 2012.

Nach dem Einchecken im Hotel in München-Sendlinger Tor ging es zum Abendessen in den Bayrischen Donisl am Marienplatz. Am nächsten Morgen besuchten wir das Deutsche Museum, wo wir an zwei Führungen teilnehmen konnten, einmal zu den Highlights des Museums und an einer weiteren mit dem Themenschwerpunkt *Erschmelzen, Gießen und Walzen: Ein Streifzug durch die Geschichte der Metallveredelung*. Den späten Nachmittag füllte eine Führung durch das Münchner Künstlerviertel Haidhausen, und am Abend nahmen wir an einem Karl-Valentin-Abend im Theater *19Uhr63* teil. Für unsere ausländischen Gäste war der bayrische Dialekt ein Novum.

*After checking in at the hotel at Munich's Sendlinger Tor, our group headed to the Bavarian Donisl restaurant at Marienplatz for dinner. We visited the Deutsches Museum, where we took two tours; one was a guided tour focusing on the general highlights of the museum, the second tour covered the topics of Melting, casting and rolling: A journey through the history of metal processing. The late afternoon was spent in Munich's cultural district Haidhausen, and in the evening, we attended a Karl Valentin Evening at the 19Uhr63 theater. For our foreign guests and scientists, the Bavarian dialect was a novelty; some of our younger students heard it for the first time.*



**Bild 4.2:** Im Münchner Künstlerviertel Haidhausen, 2012.

**Fig. 4.2:** *In Haidhausen, the bohemian district of Munich, 2012.*

Am nächsten Tag besuchten wir die Firma Plansee in Reutte/Tirol. Dort war Dr. André Dronhofer unser Gastgeber, der im Jahr 2002 bei uns promoviert hatte. Der Besuch bei Plansee war eindrucksvoll: Von der Herstellung von Sondermetallen bis zur Fertigung unterschiedlichster Komponenten konnte man die gesamte Fertigungskette verfolgen. Herr Dr. Dron-

*The next day, we visited the Plansee company in Reutte in the Austrian state of Tyrol. Our host was Dr. André Dronhofer, who got his doctorate with us in 2002. The visit to Plansee was impressive; we were able to follow the entire manufacturing chain from the production of special metals to the manufacturing of a variety of different components. André Dronhofer*

hofer gab auch einen Überblick über die weltweiten Aktivitäten der Firma Plansee, die im Bereich der Sondermetalle Mo und W eine Führungsrolle einnimmt. Die jüngeren Exkursionsmitglieder staunten nicht schlecht, als sie hörten, dass in der Zeit von Dr. Dronhofer an unserem Institut kein Fußballspiel gegen andere Gruppen verloren wurde. Er hatte in der Schalke 04-Jugend gespielt ....

*also gave us an overview of the global activities of Plansee, a leader in the field of the special metals Mo and W worldwide. The younger members of our excursion were amazed to hear that, when Dr. Dronhofer was at our institute, we never lost any of the football matches we played against other groups. He acquired his skills as a member of the Schalke 04 youth team.*



**Bild 4.3:** Unser mikromechanisches in-situ-Testsystem, das in ein Rasterelektronenmikroskop integriert ist. **Fig. 4.3:** Our micromechanical in-situ test rig integrated into a scanning electron microscope.

**Start SFB/TR 103:** Für einige Jahre gab es nach unserer München-Exkursion keine weitere mehr, weil zwei Ereignisse uns in Atem hielten. Dies war einmal der Neubeginn unseres SFB/TR 103 (Superlegierungen) im Januar 2012, direkt nach Ende des alten SFB 459 (Formgedächtnistechnik). Die Veröffentlichungen, Abschlussberichte und Abrechnungen des SFB 459 mussten geschrieben werden, während parallel dazu der SFB/TR 103 seine Startphase hatte. Zwar kam uns beim Beginn des SFB/TR 103 unsere Erfahrung

*Start SFB/TR 103: There were no excursions for several years after our Munich trip, since two activities kept us quite busy. One was the start of our SFB/TR 103 (superalloys) at the beginning of the reporting period, immediately after the end of the old SFB 459 (shape memory technology). The publications, final reports and accounts of the SFB 459 had still to be written, while, in tandem with that, research of the SFB/TR 103 started. We benefited at the beginning of the SFB/TR 103 from the experience gained*



mit dem alten SFB und die Unterstützung durch unsere Partner aus Erlangen, insbesondere von Prof. R. Singer und Dr. R. Rettig zugute. Aber einfach war es nicht, insbesondere musste unser Kriechlabor aus seinem „Dornröschenschlaf“, in den es zu Ende des SFB 459 verfallen war, wiedererweckt werden.

*during the old SFB and from the support provided by our partners in Erlangen; the assistance given by Prof. R. Singer and Dr. R. Rettig was particularly appreciated. But it was not easy, since we had to awaken our creep laboratory from the state of hibernation into which it had fallen during SFB 459.*



**Bild 4.4:** Die erste Videokonferenz des SFB/TR 103. Auf dem Bildschirm sind die Partner aus Erlangen zu sehen, 2012.

**Fig. 4.4:** *The first video conference of SFB/TR 103. On the screen, you can see the partners from Erlangen, 2012.*

Mehrere Kriechmaschinen mussten auf den Temperaturbereich oberhalb von 1000°C aufgerüstet werden. Außerdem wurde ein neuer Bridgman-Schmelzofen beschafft, der installiert und eingefahren werden musste. Es musste ein Flyer erstellt und eine Internetseite eingerichtet werden. Und die Zusammenarbeit über die verschiedenen Standorte hinweg musste ins Laufen gebracht werden. Von Beginn des SFB/TR 103 an gab es zwei jährliche,

*Several pieces of creep equipment had to be upgraded to operate at temperatures above 1000°C, and two new creep machines had to be integrated in the laboratory. Furthermore, a new Bridgman furnace was acquired, which had to be installed and optimized. We had to create a flyer and set up a website. In addition, we had to ensure that collaboration across the various locations ran smoothly. From the very beginning of the SFB/TR 103, two*

mehrtägige Treffen, eines in Erlangen, das im Mai meist zeitgleich mit der Erlanger Bergkirchweih stattfand; und ein zweites in Bochum, im Dezember. Am jeweils ersten Treffen im Jahr nahmen auch die Mitglieder des TAAB (Technical Academic Advisory Board) des SFB/TR 103 teil, zu denen zu Beginn Prof. T. Pollock (UCSB, USA), Prof. M. Mills (OSU, USA), Prof. R. Reed (Univ. Oxford, UK), J. Gabel (MTU), Dr. O. Lüsebrink (Siemens Energy) und T. Wagner (Doncasters, Bochum) gehörten.

*annual meetings were held; one of them always took place in Erlangen, usually coinciding with the Erlanger Bergkirchweih in May; the second in Bochum, in December. Members of the TAAB (Technical Academic Advisory Board) of the SFB/TR 103 took part in the first meeting each year, including Prof. T. Pollock (UCSB, U.S.), Prof. M. Mills (OSU, U.S.), Prof. R. Reed (University of Oxford, UK), J. Gabel (MTU), Dr. O. Lüsebrink (Siemens Energy) and T. Wagner (Doncasters, Bochum).*



**Bild 4.5:** Teilnahme an der Kriechkonferenz in Kyoto, Japan, 2012.

*Fig. 4.5: Participating in the International Creep Conference in Kyoto, Japan, 2012.*

**Kriechkonferenz Kyoto, Japan:** In das Jahr 2012 fiel die Kriechkonferenz in Japan, die von unserem guten Bekannten Kouichi Maruyama in Kyoto organisiert wurde. An der internationalen Creep-Kon-

*Creep Conference in Kyoto, Japan: In 2012, the Creep Conference in Japan, which was organized by our old friend Kouichi Maruyama, took place in Kyoto. The high-temperature researchers from*

ferenz, die ursprünglich vom legendären Brian Wilshire in Swansea ins Leben gerufen wurde, nehmen die Hochtemperaturforscher des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft regelmäßig teil. Brian Wilshire war eine eindrucksvolle Erscheinung. Er hat nicht nur die wissenschaftliche Seite der Kriechforschung entscheidend mitgeprägt; vielmehr konnte er auch mit anderen Fähigkeiten und Errungenschaften punkten, wie z. B. seiner Mitgliedschaft in der walisischen Basketball Nationalmannschaft oder dem Gewinn nationaler Tanzwettbewerbe. Hier müssen wir leider berichten, dass Prof. Wilshire im Jahr 2015 verstarb, wir werden ihn nicht vergessen.

Die Kriechkonferenz in Kyoto war ein voller Erfolg, einige unserer Doktoranden sowie Postdocs (Philipp Nörtershäuser, Timo Depka, Leonardo Agudo) konnten die Ergebnisse ihrer fortgeschrittenen Arbeiten vor internationalem, fachkundigem Publikum vorstellen. Auch die Arbeiten von Prof. Victoria Yardley zur Entwicklung der Mikrostruktur von Chromstählen vor der Rissspitze in Hochtemperatur-CT-Proben stießen auf großes Interesse. Die Creep 2012 hätte eigentlich schon im Jahr zuvor stattfinden sollen, fiel aber zunächst aus wegen des verheerenden Erdbebens in Sendai aus.

**Versuchshalle des Instituts für Werkstoffe:** Im Sommer 2012 war es wieder soweit. Die Halle des Instituts für Werkstoffe musste renoviert werden. Diese Aktion findet in etwa fünfjährigen Abständen statt und wird von Frau Claudia Brügge (vom Nachbarlehrstuhl WT) und Dietmar Rose organisiert. Durch das Grundpraktikum der mehreren Hundert Studierenden des Maschinenbaus im Januar/Februar und April/Mai jeden Jahres wird insbesondere der Parkettboden der Halle, der aus Dämpfungsgründen (Ermüdungsversuche) von Beginn an eingebaut war, in Mitleidenschaft gezogen. Die starke Frequen-

*our Chair of Materials Science and Engineering regularly participate in the International Creep Conference, which was originally instigated by the legendary Brian Wilshire from Swansea University. Brian Wilshire was a larger-than-life character. Not only did he decisively influence the scientific community's attitude to creep research but he also surprised and delighted with some of his other skills and achievements, such as his place on the Welsh national basketball team and his success in winning national dance competitions. With a heavy heart, we must report that Prof. Wilshire passed away in 2015; he will not be forgotten.*

*The Creep Conference in Kyoto was a success, and some of our graduate students and postdocs (Philipp Nörtershäuser, Timo Depka, Leonardo Agudo) presented their results of their well-advanced theses to an international audience. The work of Prof. Victoria Yardley on the development of the microstructure of tempered martensitic chromium steels ahead of the crack tip in high-temperature CT specimens was also received with great interest. It only remains to be said that the Creep 2012 had been originally scheduled to take place in Sendai the year before but had to be postponed due to the devastating earthquake, which was widely covered in the media.*

**Test hall of the Institute for Materials:** *In the summer of 2012, it was time to swing into action again. The hall of the Institute for Materials needed to be renovated. This operation takes place approximately every five years and is organized by Ms. Claudia Brügge (from the neighbouring Chair WT) and Dietmar Rose. Due to the basic lab courses taken by several hundred mechanical engineering students, which are carried out in January/February and April/May of each year, the parquet floor of the hall, which was installed at the very beginning with attenuation in mind (fatigue tests), suffers significant damage.*

tierung führt auch zur sonstigen kleineren Schäden, die repariert werden müssen. Bei einer Hallenrenovierung müssen alle Apparate umgestellt und große Forschungsflächen freigeräumt werden, damit der Parkettboden ausgebessert werden kann.

*The high frequency of visitors, who pass through the hall, leads to other minor damage that also requires mending. Hall renovation is not to be taken lightly – all this equipment has to be moved, and large research areas must be cleared so that the parquet floor can be repaired.*



**Bild 4.6:** Versuchshalle des Instituts für Werkstoffe während der Renovierung, 2012.

**Fig. 4.6:** *Test hall of the Institute for Materials during renovation in 2012.*

Wir nutzen unsere Halle gemeinsam mit den Kollegen des Instituts für Werkstoffe für die Forschung. Es sind dort teure Forschungsgeräte aufgestellt. Insbesondere finden dort von Zeit zu Zeit auch Begutachtungen statt, weshalb die Versuchshalle in einem präsentablen Zustand gehalten werden muss. Aufgrund der Größe des Instituts ist unsere Versuchshalle für Weihnachtsfeiern schon seit mehreren Jahren zu klein. Kleinere Veranstaltungen mit bis zu 80 Personen, finden dort aber immer noch statt. Zu diesen Veranstaltungen gehört z. B. ein Teil der jährlichen Vorstellung unserer Vertiefungsrichtung *Werkstoff- und Microengineering*. Auch einige der Promotions-Feiern des Instituts werden in der Halle abgehalten.

*We use the hall for research activities together with our colleagues from the Institute for Materials. It houses a number of pieces of expensive research equipment. From time to time, scientific reviews are conducted there, so we need to ensure that the test hall is always in a presentable, professional condition. Due to the strong growth of the Institute for Materials, our test hall is no longer big enough to accommodate everybody attending our Christmas parties. But smaller events, comprising of up to 80 participants, are still being held there. These events include the annual overview presentations of our career path of Materials and Micro Engineering. Some of the Institute's doctoral celebrations are also held in the hall.*



**ICSMA Bangalore, Indien:** Im Jahr 2012 fand in Indien die International Conference for Strength of Materials (ICSMA) statt. Es war die letzte Konferenz, für deren wissenschaftliches Programm Gunther Eggeler als Chairman des International Scientific Committee mit verantwortlich war. Chairman des lokalen Organisationskomitees der ICSMA 2012 war Prof. Atul Chokshi. Er und seine Kollegen vom Indian Institute of Science haben die ICSMA 2012 zu einem unvergesslichen Ereignis gemacht, in dem vor allem auch die jungen Wissenschaftler/innen stärker als sonst üblich in den Vordergrund treten konnten. Von unserem Lehrstuhl nahm Guillaume Laplanche mit seinen Arbeiten zur Nanoindentation an NiTi Formgedächtnislegierungen an der ICSMA 2012 teil.

**DFG-Forschergruppe *High Temperature Shape Memory Alloys*:** Im Juni 2012 wurde eine DFG-Forschergruppe zum Thema *High Temperature Shape Memory Alloys* (HT-SMAs) eingerichtet, die von Prof. H. J. Maier (damals Uni Paderborn, heute Leibniz Universität Hannover) geleitet wurde. Unser Lehrstuhl ist an dieser Aktivität mit zwei Projekten beteiligt, in einem der Projekte geht es um die schmelzmetallurgische Herstellung geeigneter Legierungen (vor allem: System TiTa), das andere konzentriert sich auf die elektronenmikroskopische Untersuchungen an dieser Legierung. Die Doktorarbeit von Ramona Rynko hatte elektronenmikroskopische Untersuchungen von Strukturbildungsprozessen zum Gegenstand, sie wurde in der TEM-Gruppe von Dr. Christoph Somsen durchgeführt. Als Postdoc lieferte Dr. Jian Zhang, der als Humboldt-Stipendiat in Bochum war, wichtige Beiträge zu dem Projekt im Bereich der schmelzmetallurgischen Herstellung von TiTa-Legierungen (Processing Gruppe von Dr. Jan Frenzel).

**ICSMA Bangalore, India:** In 2012, the International Conference on the Strength of Materials (ICSMA) took place in India. This was the last conference at which Gunther Eggeler, as Chairman of the International Scientific Committee, was responsible for the scientific program. The Chairman of the local organizing committee of ICSMA 2012 was Prof. Atul Chokshi; he and his colleagues from the Indian Institute of Science have turned ICSMA 2012 into an unforgettable event, integrating, in particular, young scientists more than usual to come to the fore. Representing our Chair, Guillaume Laplanche participated in ICSMA 2012 with his work on nanoindentation of NiTi shape memory alloys.

**DFG Research Group *High-Temperature Shape Memory Alloys*:** In June 2012, a DFG research group on the subject of High-Temperature Shape Memory Alloys (HT-SMAs) started work. It was led by Prof. H. J. Maier (at that time at the University of Paderborn, currently with the Leibniz University Hanover). Our Chair participated in this activity with two projects. One was concerned with the ingot metallurgy of these alloys (primarily: system TiTa). The other concentrated on the electron microscopic investigation of these alloys. Ramona Rynko's doctoral thesis dealt with the electron microscopic investigation of the structure formation processes and was conducted in the TEM group led by Dr. Christoph Somsen. As a postdoc, Dr. Jian Zhang made important contributions to the project in the field of melting and thermomechanical treatments of TiTa alloys (Dr. Jan Frenzel's processing group).



**Ideenpark 2012:** Der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft nahm vom 11. bis 23. August am IdeenPark 2012 teil, der vierten Veranstaltung dieser Art. Er fand in der Messe Essen und im Gruga Park statt, wo mehr als 200 Gruppen aus Wissenschaft, Gesellschaft und Wirtschaft ausstellten. Die Veranstaltung wurde von über 300.000 Menschen besucht. Der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft war mit einem Formgedächtnisstand dabei. Hier konnten Kinder den Anfangsbuchstaben ihres Vornamens formen. Sie konnten die Wärmebehandlung ihres geformten Drahts miterleben und hatten dann einen Buchstaben, den sie bis zur Unkenntlichkeit verformen konnten und der dann, bei leichter Erwärmung, wieder in seine Ausgangsform zurückkehrte. Ein mehrere Personen umfassendes Mitarbeiterteam war während der Ideenpark-Woche durchweg im Einsatz.

*The Ideas Park 2012: From August 11 to August 23, we took part in the Ideas Park 2012, the fourth event of its kind. It was held at the Essen exhibition grounds and in the Gruga Park; more than 200 exhibitors from the worlds of science, society and business were present. Over 300.000 people came to the event. Our Chair was there with a stand demonstrating the shape memory effect. Children enjoyed forming the first letter of their names with a shape memory wire. They were able to experience at close quarters the heat treatment of the formed wire, which they then deformed until it seemed irredeemably damaged. And yet magically, when it was slightly heated, it slowly regained its original shape. A team consisting of a number of our people was running the show throughout the week of the Ideas Park.*



**Bild 4.7:** Safa Mogharebi zeigt Kindern, wie man ein Formgedächtnisteil baut, Ideenpark 2012. **Fig. 4.7:** Safa Mogharebi shows children how to build a shape memory actuator, Ideas Park 2012.

**ESOMAT 2012:** Die europäische Tagung zu martensitischen Umwandlungen fand im September 2012 in St. Petersburg/Russland statt. Der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft war dort durch alle Formgedächtnisforscher des Lehrstuhls vertreten. Die ESOMAT-Tagungsserie wurde von Prof. Erhard Hornbogen, dem ersten Lehrstuhlinhaber des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft mitbegründet. Hier wird über die neuesten Ergebnisse zur Formgedächtnisforschung berichtet. St. Petersburg ist eine wunderschöne Stadt, die man gerne für eine wissenschaftliche Konferenz besucht. Mit den russischen Kollegen haben wir Bochumer seit langem einen sehr guten Kontakt, insbesondere mit Prof. Yuriy Chumlyakov aus Tomsk, Sibirien, der uns in der Vergangenheit mit erstklassigen NiTi- und Cu-Einkristallen versorgt hat, sowie mit Prof. Sergei Prokoshkin, dessen präzise Röntgendaten uns zu unserer Arbeit zur Abhängigkeit der Martensit-Starttemperatur vom Ni-Gehalt angeregt hat.

*ESOMAT 2012: The European conference on martensitic transformations took place in St. Petersburg, Russia, in September 2012. All shape memory researchers from our group attended the conference. The ESOMAT series of conferences was co-founded by Prof. Erhard Hornbogen, the first head of our Chair for Materials Science and Engineering. At this event, reports on the latest results from the realm of shape memory research are shared. St. Petersburg is a very beautiful city; it was no hardship to attend the scientific conference there. We in Bochum have long enjoyed excellent relationships with our Russian colleagues, in particular with Prof. Yuriy Chumlyakov from Tomsk, Siberia, who has provided us in the past with first-class NiTi and Cu single crystals, and with Prof. Sergei Prokoshkin, whose precise X-ray data inspired our work on the dependence of the martensite start temperature of NiTi SMAs on the Ni content.*

**2013:**

**DGM (Deutsche Gesellschaft für Materialkunde) -Tag in Bochum:** Im Mai 2013 fand der DGM-Tag mit Nachwuchsforum in Bochum statt. Zum DGM-Tag 2013 begrüßte der Vorsitzende Prof. H. J. Christ die Teilnehmer am Dienstag, den 21. Mai, um 14.00 Uhr im Veranstaltungszentrum der Ruhr-Universität Bochum. Die großzügigen Räumlichkeiten des Veranstaltungszentrums der Ruhr-Universität Bochum boten einen hervorragenden Rahmen für dieses wichtige Treffen unserer Fachgesellschaft. Prof. Alfred Ludwig konnte den Teilnehmern über die Entwicklung der Materialforschung an der RUB berichten. Das Schülerlabor der Ruhr-Universität Bochum konnte vorgestellt werden, und es fand die Gründung des Regionalforums Rhein-Ruhr statt, die Gunther Eggeler mit einem Vortrag „Ein neues Miteinander in der Materialforschung an Rhein und Ruhr“ einleitete.

**2013:**

**German Association for Materials Research Day (DGM Day) in Bochum:** In May 2013, the DGM Day with its associated activities was organized in Bochum. DGM Chairman Prof. H. Christ welcomed the attendees to the Convention Centre of the Ruhr University Bochum. The spacious rooms of the Convention Centre provided an excellent venue for this important meeting of our professional society. Prof. Alfred Ludwig presented an introductory lecture on the progress of materials research at RUB. A materials lab, newly designed for demonstrating our subject to young students, which we helped to establish at the Ruhr-Universität Bochum, was presented. The Rhein-Ruhr Regional Forum was founded. It was introduced by Gunther Eggeler with a lecture entitled "New Opportunities for Cooperation in Materials Research on the Rhine and Ruhr".



**Bild 4.8:** Gründung des DGM-Regionalforums Rhein-Ruhr in Bochum, 2013.  
*Fig. 4.8:* Start of the DGM Regional Forum Rhein-Ruhr in Bochum, 2013.



Die für einen DGM-Tag üblichen Tagungspunkte (Preisverleihungen, Mitgliederversammlung) waren Teil des Programms. In einem Gastvortrag sprach Dr. Dr. h.c. Andreas Tammann über seinen Großvater, Prof. Gustav Tammann, einen der Gründer unseres Fachs. Der DGM-Konvent fand im Stadtpark Bochum statt, zum Gesellschaftsabend fuhren Busse zur Henrichshütte in Hattingen, wo eine alte Industrieanlage geschmackvoll zu einem großen Veranstaltungsraum mit Gastronomie umgestaltet wurde. Mit dem Gesellschaftsabend endete am Donnerstag, dem 23. Mai, der DGM-Tag 2013. Heute führt die DGM die Tradition der DGM-Tage an den wichtigen Standorten der Mitglieder der Gesellschaft nicht mehr fort. Wir gehören zu denjenigen, die das ein wenig bedauern.

*The usual agenda items for a DGM Day (award ceremonies, general assembly) were also part of the program. In a guest lecture, Dr. Dr. h.c. Andreas Tammann spoke about his grandfather, Prof. Gustav Tammann, one of the founders of our discipline. The DGM Convention was held in Bochum's City Park; afterwards the participants were taken by bus to Henrichshütte in Hattingen, where an old industrial plant has been tastefully redesigned and transformed into a large event space with catering. The social evening on Thursday, May 23, was a wonderful conclusion to the DGM Day 2013. Today, the DGM no longer upholds the tradition of conducting DGM Days at its members' key locations; we are among those who rather regret this.*



**Bild 4.9:** Band des Instituts für Werkstoffe, Sommer 2013.

*Fig. 4.9: Institute for Materials Rock and Blues Band, summer 2013.*

**Institutsband bei *MasterIng the Future*:** *MasterIng the Future* heißt die Veranstaltung der Fakultät für Maschinenbau, bei der sich unsere Studierenden für eine der Vertiefungsrichtungen entscheiden. Die

***The Institute Band at Mastering the Future:*** *Mastering the Future is the event run by the Faculty of Mechanical Engineering, in which our students opt for one of the areas of specialization. The event*



Veranstaltung klingt abends immer mit einem gemütlichen Zusammensein aus. Nachdem die Band des Instituts für Werkstoffe schon längst über die Grenzen der gemeinsamen Weihnachtsfeiern hinaus bekannt geworden ist, spielen wir gelegentlich auch bei solchen Veranstaltungen. Dies war auch wieder am 11. Juni 2013 der Fall, an dem uns unser sehr guter Pianist und Sänger Christoph Escher (heute Honorarprofessor am Institut für Werkstoffe) unterstützte. Bei dem Auftritt waren von unserem Lehrstuhl Guillaume Laplanche, Jan Frenzel, Carl Klein und Philipp Hallensleben als Musiker mit dabei.

*is always rounded off in the evening with a nice cosy get-together. In the meantime, the reputation of the Institute of Material's Band has been making waves beyond the confines of the Institute's Christmas Party; and so we occasionally play at events such as this one. On June 11, 2013, we were supported by our excellent pianist and singer Christoph Escher (now an Honorary Professor at the Institute for Materials). The performance also featured as musicians Guillaume Laplanche, Jan Frenzel, Carl Klein and Philipp Hallensleben from our Chair.*



**Bild 4.10:** Französisch/deutsches Superlegierungstreffen, Bochum 2013.

**Fig. 4.10:** Franco-German superalloy meeting, Bochum 2013.

**Deutsch-Französisches SX Seminar:** 2013 war das Jahr der deutsch-französischen Freundschaft. Deshalb und mit Blick auf die Notwendigkeit, im Rahmen des SFB/TR 103 mit internationalen Forschern zusammenzuarbeiten, organisierten wir am 20./21. Juni an der RUB ein Workshop mit dem Titel Single Crystal Superalloys with  $\gamma/\gamma'$ -microstructures. Der Workshop was sehr gut besucht. Aus Frankreich kamen Forscher/innen von der ONERA in Paris, aus Toulouse (ENSIACET und CEMES), und von den Universitäten Nancy und Poitiers. Aus Deutschland

**Franco-German Superalloy Seminar:** 2013 was the year of the Franco-German friendship. For that reason and in view of the need to collaborate with international researchers as a part of SFB/TR 103, we organised a work-shop at the RUB entitled Single Crystal Superalloys with  $\gamma/\gamma'$ -microstructures on June 20-21. The workshop was very well attended. The French participants included researchers from ONERA in Paris, from ENSIACET and CEMES in Toulouse as well as from the Universities of Nancy and Poitiers. Germany was represented by superalloy

waren ForscherInnen der Uni Bayreuth, der FAU Erlangen und der TU-Berlin vertreten.

**Lehrstuhl Sommerfest:** Am 5. August gab es ein Sommerfest des Lehrstuhls, anstelle einer Exkursion, die im Jahr 2013 aus Zeitmangelgründen nicht durchgeführt werden konnte. Es wurde am Beckmannshof gegrillt. Das Sommerfest fiel mit dem 50. Geburtstag von Klaus Neuking zusammen, der bei dieser Gelegenheit gefeiert wurde.

*researchers from the University of Bayreuth, FAU Erlangen and TU-Berlin.*

***The Chair's Summer Party:** On 5<sup>th</sup> August, we held a summer celebration instead of going on a field trip, which could not be undertaken in 2013 due to lack of time. We had a BBQ party at the Beckmannshof. The summer event coincided with the 50th birthday of Klaus Neuking, which was celebrated on that occasion.*



**Bild 4.11:** Grillen beim Lehrstuhl-Sommerfest im August 2013.  
**Fig. 4.11:** *Barbecue/summer festival of the chair in August 2013.*

**DGM Regionalforum Rhein / Ruhr:** Die erste Sitzung des Regionalforums Rhein/Ruhr fand unter Leitung des Sprechers Gunther Eggeler am 5. und 6. September im Zentrum für IT Sicherheit der Ruhr-Universität Bochum statt. Das Oberthema des Treffens war *Mikrostrukturierte Werkstoffentwicklung*, zu dem alle Standorte des Regionalforums interessante Beiträge

***DGM Regional Forum Rhein/Ruhr:** The first meeting of the Regional Forum Rhein/Ruhr was organized by its first Speaker Gunther Eggeler on September 5-6 at the Centre for IT Security at the Ruhr University Bochum. The main topic of the meeting was microstructured materials development, and all of the sites of the Regional Forum provided intriguing*



lieferten. Das erste Treffen hat das Format der darauffolgenden Sitzungen geprägt (4./5. September 2014: FZ Jülich – Werkstoffe und Energie, 3./4. September 2015: Uni Siegen – Leichtbau, 1./2. September 2016: Hydro Aluminium Rolled Products, Bonn – Metallkunde) geprägt. Die Treffen begannen an einem Donnerstagmittag. Zum Ende des Vortragsprogramms wurde ein gemeinsamer Abend verbracht, an dem die TeilnehmerInnen intensiv diskutierten. Am Freitag folgten noch einmal bis zum Mittag Vorträge, und mit einem leichten Imbiss endeten die Vorträge. Insgesamt wird das Regionalforum Rhein-Ruhr als Bereicherung empfunden. Beim letzten Treffen in Bonn übergab Gunther Eggeler das Sprecheramt an Herrn Prof. Doru Lupascu von der Universität Duisburg-Essen, der zuvor von den anwesenden Mitgliedern einstimmig gewählt worden war.

*contributions. The first meeting shaped the format of the following sessions (September 4-5, 2014, FZ Jülich – Materials and Energy; September 3-4, 2015, Uni Siegen – Lightweight Construction; September 1-2, 2016, Hydro Aluminium Rolled Products, Bonn – Metallurgy). The meeting began on Thursday at lunchtime. At the end of the lecture program, the evening was spent together, and lively discussions were held among the participants. On Friday, lectures resumed until lunchtime, and the presentations were rounded out with a light snack. Overall, the Rhein/Ruhr Regional Forum was seen as an enrichment to our discipline. At the last meeting in Bonn, Gunther Eggeler passed the office of Speaker to Prof. Doru Lupascu of the University of Duisburg-Essen, who had been unanimously elected by the members present.*



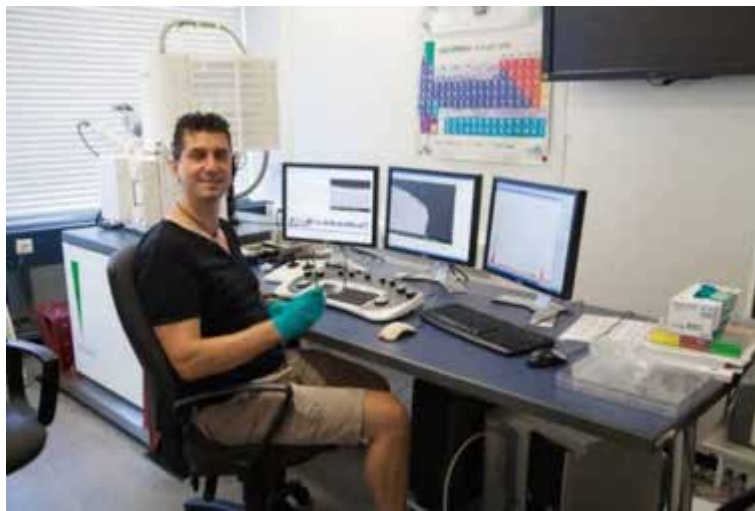
**Bild 4.12:** Unser altes Röntgengerät, das 30 Jahre lang gute Dienste geleistet hatte, wurde beim Umzug nicht mitgenommen. **Fig.4.12:** *Our old X-ray diffractometer was left behind when we moved to the new building.*

**Umzug im Oktober:** Im Oktober 2013 war es dann soweit. Der sorgfältig geplante Umzug des Instituts für Werkstoffe fand wohlgeordnet statt. In den Monaten zuvor wurden alle Instrumente und Maschinen, die in unserem alten Gebäude in der dritten

**The Relocation in October:** *In October 2013, we were ready to go. All of the instruments and equipment that were in our old building on the third floor, the installation of which in many cases had been a complex undertaking, were made*

Etage teils aufwändig installiert waren, transportfertig gemacht. Sorgen machten wir uns vor allem um die Elektronenmikroskope und um empfindlicheren Prüfmaschinen. Gleichzeitig wurden die neuen Laboratorien in unserem neuen ICFO-Gebäudetrakt so vorbereitet, dass die Geräte gleich wieder angeschlossen werden konnten. Gewisses Altmaterial wurde entsorgt. Büromaterial wurde zügig umgezogen. Aus heutiger Sicht verlief alles reibungslos, und wir sind mit der neuen Unterbringung hochzufrieden.

*ready for transportation. We were particularly concerned about the electron microscopes and the extremely sensitive testing machines. While all this was going on, the new laboratories in our new ICFO building tract were being prepared, so that the equipment could be reconnected without further delay. A certain amount of old research equipment was disposed of and replaced. Office equipment and materials were quickly relocated. From today's point of view, everything worked smoothly, and we are quite happy with our new arrangement.*

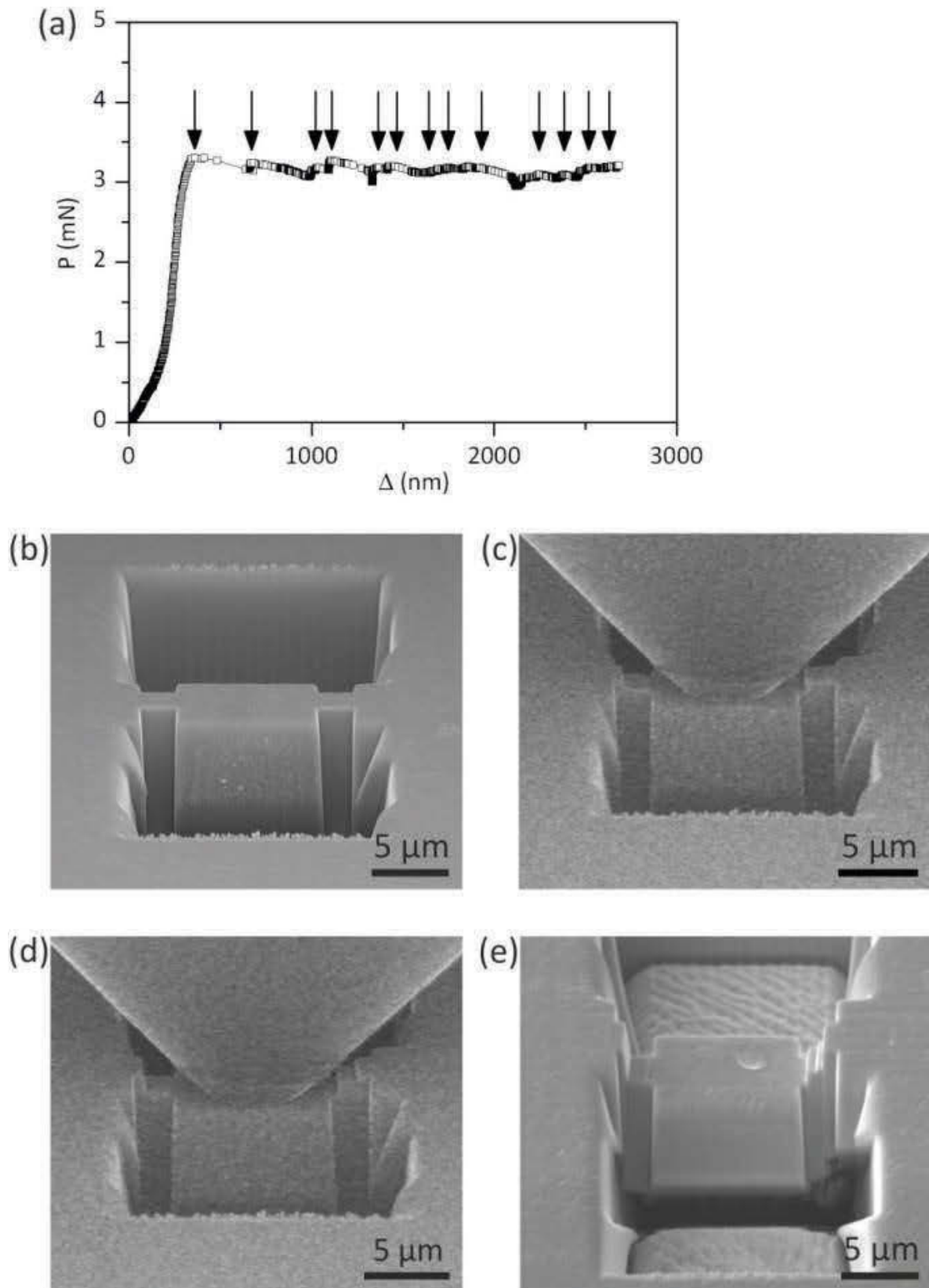


**Bild 4.13:** Norbert Lindner hielt unser Leo 1530 VP REM bis kurz vor dem Umzug am Laufen. **Fig. 4.13:** Norbert Lindner kept our LEO 1530 VP running until very shortly before we moved.



**Bild 4.14:** Alexander Paulsen und Kathrin Demtröder haben es geschafft, unsere Philips X'Pert-Diffraktormeter in den alten Aufzug von IA zu verstauen. **Fig. 4.14:** Alexander Paulsen and Kathrin Demtröder managed to squeeze our Philips X'Pert Diffractometer into the old elevator of IA.





**Bild 4.15:** Aus unserer ersten Acta Materialia-Veröffentlichung zu Mikroscherversuchen an Au-Einkristallen. (a) Scherspannungs-Scherungs-Kurve. (b) Verschiedene Stadien des Scherversuchs im REM. **Fig. 4.15:** From our first Acta Materialia publication on micro shear tests on Au single crystals. (a) Shear stress – shear curve. (b) Different stages of micro shear testing as observed in the SEM.

**Weihnachtsfeier 2013:** Im Jahr 2013 war wieder einmal unser Lehrstuhl mit der Organisation der Institutsweihnachtsfeier an der Reihe. Vor der Weihnachtsfeier gab es für Ehemalige des Instituts die Gelegenheit, unsere neuen Räumlichkeiten zu besuchen. Dies wurde von vielen Ehemaligen wahrgenommen, denen Klaus Neuking die neuen Labore zeigte. Wie bereits in den acht Jahren zuvor, fand die Weihnachtsfeier in der Cafeteria der RUB-Mensa statt. Mittlerweile wird zuerst im oberen Restaurant gegessen und dann in der Cafeteria gefeiert. Im Jahr 2013 spielte die Band des Instituts für Werkstoffe und sorgte für einen unterhaltsamen Jahresausklang. Ehemalige kommen gerne zu unserer Institutsweihnachtsfeier, es wird über alte Zeiten gesprochen und es werden Erfahrungen ausgetauscht.

*Christmas party in 2013:* In 2013, it was once again our Chair's turn to organize the Institute's Christmas party. Before the Christmas party began, former members of the Institute had an opportunity to visit our new facilities. Many former members came, and Klaus Neuking showed them the new laboratories. As in the eight years before, the Christmas party was held in the cafeteria of the RUB's central canteen. This time, we first had dinner in the upstairs restaurant and subsequently celebrated in the cafeteria. In 2013, the band of the Institute for Materials performed a most entertaining selection of music to celebrate the end of the year. Former members enjoy coming to our Institute's Christmas party; we talk about old times. We also exchange information on our professional lives and experience.



**Bild 4.16:** Bilder von der Institutsweihnachtsfeier 2013.

*Fig. 4.16: Institute's Christmas Party 2013.*





**Bild 4.17:** Ein letzter Blick in die verschneite Winterlandschaft aus dem alten Gebäude IA, das heute nicht mehr steht, Anfang 2013. *Fig. 4.17: A last look into the wintery RUB landscape from our old building IA that has now been razed.*

**Prof. em. Dr.-Ing. Hans Berns:** Am 2. Dezember 2013 verstarb Herr Kollege Professor Berns, Emeritus am Lehrstuhl Werkstofftechnik, im Alter von 78 Jahren. Herr Berns hatte 1994 die Kommission geleitet, die meine Berufung empfohlen hatte. Herr Berns hat mir in der Anfangsphase in Bochum sehr geholfen und viele wichtige Dinge angeregt. Er hat den Geist am Institut für Werkstoffe und viele administrative Abläufe an unserem Institut für Werkstoffe entscheidend geprägt, vieles funktioniert heute noch so, wie er es damals erdacht hat. Wir werden ihn in Ehren halten.

**Prof. em. Dr.-Ing. Hans Berns:** On December 2, 2013, our colleague Hans Berns, Professor Emeritus at the Chair of Materials Technology, passed away at the age of 78. In 1994, Professor Berns was the head of the hiring committee that recommended that I be appointed as Department Chair. Professor Berns helped me a great deal in the initial phase in Bochum and was the impetus behind many important activities. He crucially influenced the spirit of the Institute for Materials; today many things still work the way he conceived them at the time. His memory will always be honored.

**2014:****Exkursion zum Kraftwerk Datteln**

**2014:** Der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft führt im Rahmen seiner Lehrveranstaltungen eine Vielzahl von Exkursionen durch, die wir hier nicht alle im Einzelnen nachhalten können (2012 Kraftwerk Niederaußem, 2013 Kraftwerk Datteln, 2015 Kraftwerke Lünen und Hamm, 2016 Kraftwerke Lünen und Hamm). Ein Beispiel sei hier aber genannt, die Exkursion zum Kraftwerk Datteln zum Ende des Wintersemesters 2013/14. Diese Exkursion fand als Teil der Vorlesung *Werkstoffe der Energietechnik* statt, die von Dr. Christoph Somsen gehalten wird. Das Kraftwerk Datteln ist ein Steinkohlekraftwerk, das am Dortmund-Ems-Kanal liegt und von der Uniper Kraftwerk GmbH betrieben wird. Ein Teil der Kraftwerkblöcke war zum Zeitpunkt der Exkursion stillgelegt, ein weiterer befand sich im Bau, gute Gelegenheit um Einblicke zu erhalten, die man sonst nicht so einfach bekommt. Die Exkursion mit den Studierenden wurde von Philip Wollgramm organisiert.

**2014:**

**Excursion to the Datteln power plant in 2014:** *The Chair of Materials Science and Engineering undertakes many excursions as part of the course work, not all of which can be documented in detail here (the Niederaussem power plant in 2012, the Datteln power plant in 2013, Lünen and Hamm power plants in 2015 and 2016). As an example, we briefly mention here the excursion to the Datteln power plant at the end of the Winter Semester 2013-14. This excursion was part of the lecture course Materials for Energy, held by Dr. Christoph Somsen and led by Philip Wollgramm. The Datteln power plant is a coal-fired power plant near Datteln on the Dortmund-Ems Canal that is run by Uniper Kraftwerk GmbH. At the time of our excursion, some of the blocks of the plant had been decommissioned; another one was under construction, providing a good opportunity to see some components, which are hidden during service. The excursion with students was organized by Philip Wollgramm.*



**Bild 4.18:** Exkursion zum Kraftwerk Datteln, 2014.  
**Fig. 4.18:** Excursion to the Datteln power plant, 2014.



**Superalloy Microscopy Symposium an der RUB 2014:** Am 6./7. März organisierten wir ein Symposium zur Elektronenmikroskopie an Superlegierungen. Diese Veranstaltung war Teil des Outreach-Programms des SFB/TR 103.

*Superalloy Microscopy Symposium at the RUB in 2014:* On March 6-7, our Chair organized a symposium entitled *Recent Progress in Transmission Electron Microscopy and Atom Probe Analysis of Advanced High-Temperature Materials*.



**Bild 4.19:** Mitglieder des TEM-Superlegierungssymposiums mit Farbbrille für die 3D-Wahrnehmung eines entsprechend aufbereiteten Stereopaars.

*Fig. 4.19:* Members of the TEM SX meeting with colored glasses, allowing 3D perception of stereo information.

Die Teilnehmer/innen trafen sich am Vorabend im *Café Zentral* in der Bochumer Innenstadt. Das Symposium war als eintägige Vortragsveranstaltung angelegt. Als internationale Gäste nahmen Prof. Mike Mills von der The Ohio State University in Columbus USA, und Prof. Antonin Dlouhy vom Institute of Physics of Materials in Brno CZ an der Veranstaltung teil. Aus Deutschland kamen Beiträge von der BAM Berlin, der FAU Erlangen, dem MPIE Düsseldorf und der Universität Bayreuth.

*The participants met the previous evening at Café Zentral in downtown Bochum. The symposium was structured as a one-day lecture event. The international guests included Prof. Mike Mills of The Ohio State University in Columbus, Ohio, United States, and Prof. Antonin Dlouhy of the Institute of the Physics of Materials in Brno, Czech Republic. Participants from Germany came from BAM Berlin, FAU Erlangen, MPIE Dusseldorf and the University of Bayreuth.*

**Formgedächtnispolymere – SPP 1713:** Am 6. März wurde das DFG-Schwerpunktprogramms SPP 1713 zu stark gekoppelten thermochemischen und thermomechanischen Zustände in Angewandten Materialien gegründet, welches Ingo Steinbach vom ICAMS initiiert hatte. Wir hatten gemeinsam mit den Kollegen Prof. Holger Steeb (Mechanik) und Prof.

*Shape Memory Polymers – SPP 1713:* On March 6, the DFG Priority Program SPP 1713 on strongly coupled thermo-chemical and thermo-mechanical states started with an assessment of project applications. Ingo Steinbach from ICAMS initiated this program. Together with our partners Holger Steeb (Mechanics) and Fatollah Varnik (Physics of Materials, ICAMS), we

Fatollah Varnik (Materialphysik, ICAMS) einen Antrag mit drei Teilprojekten zu Formgedächtnis-Polymeren eingereicht, der erfolgreich war. Zum Zeitpunkt der Antragstellung hatten bereits Stephane Kemtchou (2007), Anwar Abu-Zarifa (2007) und Christina Schmidt (2011) im Bereich der Formgedächtnispolymere promoviert, und die Dr.-Arbeit von Safa Mogharebi stand kurz vor dem Abschluss. Nach Abschluss der Arbeit von Safa Mogharebi übernahm Axel Marquardt das Projekt, das von Klaus Neuking (Polymergruppe) betreut wurde.

*had prepared an application with three sub-projects. Stephane Kemtchou (2007), Anwar Abu-Zarifa (2007) and Christina Schmidt (2011) had already received their Dr.-Ing. degrees for research in this area. Safa Mogharebi was just about to complete his Dr.-Ing. thesis. The project is part of Klaus Neuking's shape memory polymer group, where Axel Marquardt was responsible for day-to-day work. The title of our project is: On the influence of thermo-mechanical and thermo-chemical coupling on the functional properties of shape-memory polymers.*

**Adelboden.** Seit vielen Jahren nehmen wir in unregelmäßigen Abständen am Werkstoffsymposium teil, das von den Kollegen vom KIT Karlsruhe organisiert wird. Zu dem interessanten Werkstofftreffen in den Schweizer Alpen kommen Kollegen aus ganz Deutschland, und es nehmen auch WissenschaftlerInnen aus dem Ausland teil. 2014 fand das Adelbodener Werkstoffseminar vom 10. bis zum 14. März statt. Mike Mills von der The Ohio State University (OSU) nahm als internationaler Gast an dem Symposium teil.

*Adelboden.* For many years, we have taken part in the Materials Symposium, organized by our colleagues from KIT Karlsruhe. Many colleagues from all over Germany and a few scientists from abroad attend the meeting, which is held in the Swiss Alps. In 2014, the Adelboden Symposium took place from March 10<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup>. Mike Mills from The Ohio State University (OSU) was one of the international guests at the meeting.



**Bild 4.20:** Jan Frenzel und Klaus Neuking als Führer bei der ExtraSchicht.  
**Fig. 4.20:** Jan Frenzel and Klaus Neuking as guides during the ExtraSchicht.

**ExtraSchicht 2014 an der RUB:** Die ExtraSchicht ist eine Veranstaltung, in der die Metropole Ruhr zeigt, was sie an Kunst und Kultur zu bieten hat. Im Jahr 2014 war die RUB mit dabei. Die ExtraSchicht fand am 28. Juni statt. Bürger/innen nahmen die Gelegenheit wahr, sich vor Ort über Forschung, Kultur und Lehre an unserer RUB zu informieren. In der Regel besteht besonderes Interesse an der Elektronenmikroskopie und an den faszinierenden Formgedächtnislegierungen.

**ExtraSchicht 2014 at the RUB:** *ExtraSchicht is an event in which the Ruhr metropolis shows what it has to offer in terms of art and culture. In 2014, the RUB joined up in it. ExtraSchicht always takes place in late June, in 2014 on June 28. Citizens of the Ruhr region take the opportunity to gather information on the campus about research, culture and teaching at the RUB. Guests are especially interested in electron microscopy and shape memory alloys.*



**Bild 4.21:** Der SFB/TR 103 und sein internationaler Beraterkreis nehmen an der EuroSuperalloys 2014 in Giens/Frankreich teil. **Fig. 4.21:** *The SFB/TR 103 and its Technical Academic Advisory Board participate in EuroSuperalloys 2014 in Giens, France.*

**EuroSuperalloys 2014:** Die EuroSuperalloys war die zweite europäische Superlegierungskonferenz, nachdem die Konferenzserie im Jahr 2010 von Prof. Martin Heilmaier (KIT) ins Leben gerufen

**EuroSuperalloys 2014:** *EuroSuperalloys was the second European conference on superalloys, following a series of conferences initiated by Martin Heilmaier in 2010. This time, our French colleagues*



worden war. Diesmal waren die französischen Kollegen die Ausrichter. Als Veranstalter zeichnete die Société Française de Métallurgie et de Matériaux, Chairman war Jean-Yves Guédou. Die Tagung fand vom 12. bis 16. Mai in einem für Konferenzen geeigneten Ferienkomplex in der Nähe des Städtchens Giens statt, das an der Côte d'Azur zwischen Toulon und Saint-Tropez liegt. Vertreten waren Superlegierungsforscher aus ganz Europa. Die Mitgliederversammlung des SFB/TR 103 und auch das Treffen mit dem TAAB (Technical Academic Advisory Board, die Mitglieder unseres Beraterkreises nahmen auch an der Tagung teil) konnten in die EuroSuperalloys integriert werden. Hinrich Buck, Philip Wollgramm, Alireza BasirParsa und Gunther Eggeler nahmen an der EuroSuperalloys 2014 teil.

*hosted the meeting with Jean-Yves Guédou as Chairman. The meeting was held from May 12 to May 16 in a vacation complex suitable for conferences near the small town of Giens, located on the western end of the Côte d'Azur between Toulon and Saint-Tropez. Superalloy researchers from all over Europe were present. Since Euro-Superalloys has come to be almost a required event for the SFB/TR 103, all its projects were represented. As a result, the general meeting of the SFB/TR 103 and the meeting with the TAAB (Technical Academic Advisory Board, the members of our advisors' circle also took part in the conference) were integrated into Euro-Superalloys. From our Chair, Hinrich Buck, Philip Wollgramm, Alireza Basir Parsa and Gunther Eggeler took part in EuroSuperalloys in 2014.*



**Bild 4.22:** Marcus Young, André Wiczorek und Alexander Paulsen bei der SMST 2014 in Monterey/Kalifornien (v.l.n.r). **Fig. 4.22:** Marcus Young, André Wiczorek and Alexander Paulsen at the SMST 2014 in Monterey, California (LTR).

**SMST 2014:** Während die Superlegierungsforscher/innen an der Euro-Superalloys teilnahmen, reiste die Formgedächtnisgruppe des Lehrstuhls zur

**SMST 2014:** While the superalloy researchers were participating in Euro-Superalloys, our Chair's shape memory group travelled to Monterey, California,



SMST vom 12. bis 16. Mai 2014 nach Monterey, Kalifornien. Die SMST ist eine stärker technologisch orientierte Konferenz, an der auch Anwender der Formgedächtnistechnik Interesse zeigen. In Monterey gab es ein Wiedersehen mit Marcus Young, der als AvH-Stipendiat bei uns in Bochum war und anschließend als Assistant Professor an die University of Texas gewechselt ist. In Kalifornien ist die Formgedächtnistechnik insbesondere im Bereich der medizinischen Anwendungen sehr aktiv.

**ICOMAT 2014:** Die International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT) ist die internationale Konferenz zu martensitischen Umwandlungen, die sich stark mit experimentellen und theoretischen Fragestellungen zu Formgedächtnislegierungen befasst. Sie fand im Jahr 2014 vom 6.-11. Juli in Bilbao, Spanien statt und wurde von der Universität des Baskenlandes organisiert. An der Konferenz partizipierten über 400 Forscher/innen aus aller Welt. Alle Formgedächtnisforscher/innen des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft waren dabei, und auch Prof. Ludwig und Mitglieder seiner Gruppe nahmen teil. Oliver Kastner, Guillaume Laplanche und Gunther Eggeler hatten eingeladene Vorträge. Außerdem präsentierten Ramona Rynko, Stefanie Jaeger, Pascal Thome und Jan Frenzel ihre Arbeiten. Die Bochumer Beiträge erzielten durchweg positive Resonanz, insbesondere der Vortrag von Oliver Kastner zu seiner molekular-dynamischen Beschreibung der martensitischen Umwandlung. Neben einem attraktiven wissenschaftlichen Programm gab es auch Gelegenheit, gemeinsam mit Kollegen aus aller Welt die Kultur zu genießen. So gab es z. B. Möglichkeit, das Guggenheim-Museum zu besuchen. Außerdem gab es eine Exkursion zum Museum der Evolution der Menschheit und zur Kathedrale von Burgos. Die ICOMAT ist eine gute Gelegenheit, wissenschaftliche Freunde, wiederzutreffen. Die spanischen Kollegen haben die

*for SMST on May 12-16, 2014. SMST is a very technologically aligned conference that is also of interest to users of shape memory technology. In Monterey, there was a reunion with Marcus Young, who was with us in Bochum as an AvH grant recipient and has become an Assistant Professor at the University of Texas in Austin. Shape memory technology is widely used in California, especially in medical applications.*

**ICOMAT 2014:** *The International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT) focuses primarily on experimental and theoretical questions related to shape memory alloys. It was held on July 6-11, 2014, in Bilbao, Spain, and was organized by the University of the Basque Country. More than 400 attendees from all over the world joined the conference. All shape memory researchers of the Chair of Materials Science were there, and Prof. Ludwig and the members of his group participated as well. Oliver Kastner, Guillaume Laplanche and Gunther Eggeler were invited to hold lectures. Ramona Rynko, Stefanie Jaeger, Pascal Thome and Jan Frenzel also presented their work. All the papers from Bochum received a positive response, especially Oliver Kastner's lecture on his molecular-dynamic description of martensitic transformations. In addition to an attractive scientific program, there were ample opportunities to enjoy local culture together with colleagues from all over the world. This included a visit to the Guggenheim Museum and excursions to the Museum of Human Evolution and the cathedral in Burgos – an attractive complement to the conference. ICOMAT is always a good opportunity for us to catch up with fellow scientists with whom we have had close friendships for many years. Our Spanish colleagues did an outstanding job organizing ICOMAT 2014. In Bilbao, the International Scientific Committee of*

ICOMAT 2014 hervorragend organisiert. In Bilbao wurde vom wissenschaftlichen Komitee entschieden, dass die ICOMAT 2017 in Chicago organisiert wird, Profs. Greg Olson und Aaron Stebner zeichnen als Veranstalter.

*the ICSMA decided that ICOMAT 2017 will take place in Chicago; Prof. Greg Olson and Prof. Aaron Stebner will be the organizers.*



**Bild 4.23:** Prof. Marc De Graef von der Carnegie Mellon University bei seinem Vortrag über den Klang von Akkorden. **Fig. 4.23:** Prof. Marc De Graef from the Carnegie Mellon University during his talk on how chords sound.

**Warum Akkorde gut klingen:** Im Sommer 2014 war Prof. Marc De Graef von der Carnegie Mellon bei uns zu Gast. Er ist ein führender Durchstrahlungselektronenmikroskopiker, der ein Mikroskopie-Lehrbuch verfasst hat und der vor allem auch Autor eines Simulationsprogrammes ist, das Kontraste berechnet. Über dieses Programm hat er bei uns berichtet. Er diskutierte mit allen WissenschaftlerInnen, die sich mit TEM beschäftigen. Außerdem ist er aber auch Gitarrist und befasst sich mit der Frage, warum welche Akkorde gut klingen. Auch hierzu hielt er bei uns am 14. Juli 2014

**Why chords sound good:** In the summer of 2014, Prof. Marc De Graef from the Materials Science and Engineering Department of Carnegie Mellon was our guest. He is a leading expert on transmission electron microscopy, who has written a textbook on microscopy and is also the author of a simulation program that calculates contrasts to make it easier to spot defects in crystalline materials. He talked to all the scientists whose work focuses on TEM. But he also plays the guitar and is fascinated by the question of why certain chords sound good. On 14<sup>th</sup> July 2014, he gave a lecture here,

einen Vortrag, mit praktischen Beispielen, die er selber auf der Gitarre demonstrierte. Dieser Vortrag zum Klingen von Akkorden hat weltweit eine gewisse Berühmtheit erlangt und wurde auch schon in den Materials Department der UC Santa Barbara (Gastgeber: Prof. T.M. Pollock) und am Mechanical Engineering Department der Johns Hopkins University (Gastgeber: Prof. K. Hemker) gehalten. Marc ist ein hervorragender Fingerstyle-Gitarrist. Wir sind sicher, dass noch viele weitere Einladungen folgen werden, zu TEM-Vorträgen und zu dem Klingen von Akkorden.

*illustrated by examples he played himself on the guitar. This lecture on the sound of chords has achieved a degree of international fame and has already been presented in the Materials Department of UC Santa Barbara (host: Prof. T. M. Pollock) and in the Mechanical Engineering Department of Johns Hopkins University (host: Prof. K. Hemker). Marc is an outstanding finger style guitarist. We are certain that many more invitations will follow for lectures on TEM and the sound of chords.*



**Bild 4.24:** Bilder vom Institutsausflug 2014.  
*Fig. 4.24: Images from the Institute's excursion 2014.*

**Institutsausflug 2014:** Am 18. Juli fand der Ausflug des Instituts für Werkstoffe statt. Es fanden sportliche Aktivitäten statt, und es wurde gegrillt.

***Excursion of the Institute for Materials 2014:*** On July 18, the excursion of the Institute for Materials took place. We enjoyed both nature and a good barbecue.





**Bild 4.25:** Teilnehmer der BOKOMAT 2014.

**Fig. 4.25:** *Participants of BOKOMAT 2014.*



**BOKOMAT 2014:** Nach längerer Pause veranstaltete unser Lehrstuhl wieder eine BOKOMAT, die Bochumer Konferenz zu Martensitischen Umwandlungen. Bereits zu Beginn meiner Amtszeit und parallel zum SFB459 wurden einige BOKOMAT-Tagungen organisiert. Das 2014er Treffen wurde am 18. und 19. September erstmals gemeinsam mit der Firma Ingpuls organisiert. Das Interesse an dieser deutschsprachigen Tagung zu Formgedächtnislegierungen war lebhaft. Eine Reihe führender Industrievertreter aus der Formgedächtnisbranche waren mit von der Partie. Dr. Matthias Mertmann, ein Absolvent unseres Lehrstuhls mit eigener Firma in München, gab einen kurzen Einblick in die Entwicklung der Formgedächtnisforschung aus Sicht des SMST-Fachverbandes. Die Formgedächtnisforscher des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft, insbesondere Ramona Rynko und Thorsten Birk, nutzten die Gelegenheit, ihre Forschungsergebnisse vorzustellen. Gemeinsam mit den Kollegen von Ingpuls wurde beschlossen, die BOKOMAT 2014 in Zukunft im Zweijahresrhythmus zu veranstalten. Das Format mit einer Anreise am Donnerstagmittag, einem langen Nachmittagsprogramm mit anschließendem gemütlichen Zusammensein mit Poster-Show und einem Freitagsprogramm, das gegen 14 Uhr beendet war, wurde allgemein als gelungen empfunden.

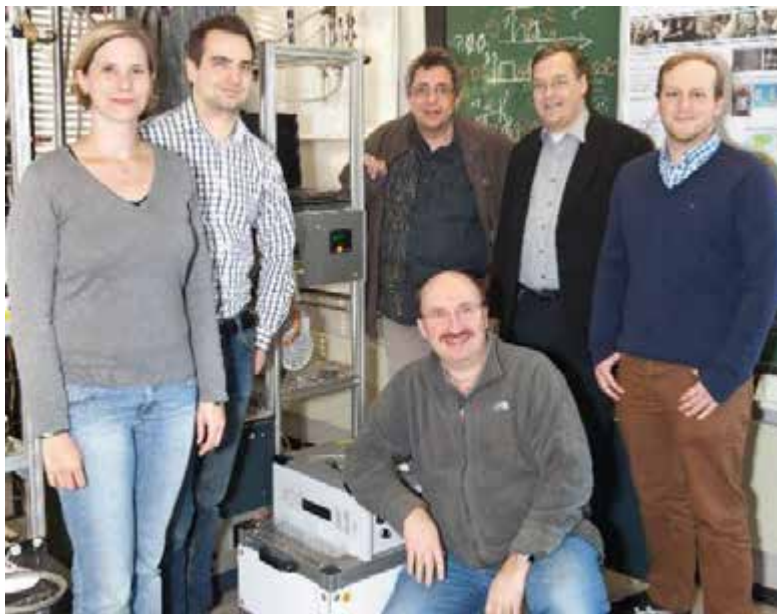
**Beginn der Vorbereitungen zum Antrag für die zweite Förderphase des SFB/TR 103:** Die zweite Jahreshälfte des Jahres 2014 und insbesondere die Wintermonate November und Dezember wurden bereits intensiv für die Vorbereitung des SFB/TR 103-Finanzierungsantrages für eine zweite Förderphase genutzt. Es galt, Forschungsergebnisse in internationalen, referierten Zeitschriften zu platzieren. Die vierjährigen Forschungsperioden der heutigen SFBs verringern zwar die Anzahl der Begutachtungen und den Aufwand für das Schreiben von Anträgen. Aber gleichzeitig ist die Erwartung der Gutachter an die Publikationsleistung gestiegen. In den

***BOKOMAT 2014:** After a long break, our Chair once again organized BOKOMAT, the Bochum Conference on Martensitic Transformations. A number of BOKOMAT meetings had been organized at the beginning of my tenure, simultaneously with SFB459. For the first time, the meeting in 2014 was organized in collaboration with the company Ingpuls, on September 18-19. Lively interest was shown in this meeting on shape memory alloys, which was held in German. A number of prominent representatives from the shape memory industry also attended. Dr. Matthias Mertmann, a graduate of our Chair with his own company in Munich, gave a brief insight into the development of shape memory research, as seen from the perspective of the SMST professional association. Some of the shape memory researchers of the Chair of Materials Science and Engineering, Ramona Rynko and Thorsten Birk in particular, took the opportunity to present their research results. Together with colleagues from Ingpuls, the decision was taken to stage BOKOMAT on a biennial basis in the future. It was generally agreed that the format consisting of arrival at noon on Thursday, a long afternoon program followed by a convivial gathering with poster show and a Friday program that concludes around 2:00 p.m., was most satisfactory.*

***Preparations begin for the application for the second funding phase of SFB/TR 103:** The second half of 2014, in particular a lot of time during the winter months of November and December, was taken up with intensive preparations for the application for a second funding phase of SFB/TR 103. It was essential to place research results in international, peer-reviewed journals. The four-year research cycles of today's SFBs do indeed decrease the number of assessments and the effort involved in writing applications. But, on the other hand, the assessors' expectations regarding published papers have risen correspondingly. During the winter*

Wintermonaten des Jahres 2014 wurde das Forschungsprogramm des SFB/TR 103 abgestimmt, und eine erste Zusammenstellung von Kurzfassungen der neuen Projekte wurde an die DFG geschickt. Die Bochumer Wechselwirkungstage vom 8. bis zum 10. Dezember standen bereits voll im Zeichen des Neuantrags für die zweite Förderphase. Am Bochumer Treffen wurde auch entschieden, dass das erste Treffen im Begutachtungsjahr 2015 abseits vom Tagesgeschäft in einem Konferenzhotel in den bayrischen Alpen durchgeführt werden sollte.

*months of 2014, the SFB/TR 103 research program was coordinated, and an initial compilation of abstracts of new projects was sent to the DFG. The Bochum Interaction Days on December 8-10 were already fully geared to supporting the new application for the second funding phase. At the Bochum meeting, it was also decided that the first meeting in the appraisal year of 2015 should be held at a remove from the distractions of our daily routine and conducted at a conference hotel in the Bavarian Alps.*



**Bild 4.26:** Projekte A1 (Kriechen) und A2 (TEM) unserer Gruppe in SFB/TR 103 in 2014.

*Fig. 4.26: Projects A1 (Creep) and A2 (TEM) from our group in SFB/TR 103, 2014.*

**2015:**

**SFB/TR 103 Wechselwirkungswoche in Grainau:** Eine letzte intensive Wechselwirkungswoche vor der Begutachtung für die zweite Förderphase fand im *Hotel am Badersee* in Grainau, in der Nähe der Zugspitze statt. Prof. Robert Singer, mit mir gemeinsam Sprecher des SFB/TR 103, hat Verbindungen nach Grainau und konnte das für diese Art von Treffen hervorragend geeignete Hotel vermitteln. Es nahmen alle Projektpartner bzw. deren Stellvertreter an dem Treffen teil. Außerdem war ein TAAB-Treffen (Abkürzung für Technical Academic Advisory Board) in die Wechselwirkungswoche integriert. Die TAAB-Mitglieder gaben wertvolle Anregungen sowohl zu den Einzelprojekten als auch zum Gesamtantrag.

**2015:**

***SFB/TR 103 Interaction Week in Grainau:*** A final intensive Interaction Week before the assessment for the second funding phase took place in *Hotel am Badersee* in Grainau, near the Zugspitze. Robert Singer had good connections to Grainau and was able to secure the hotel. It was not only an excellent choice but also proved to be particularly suitable for meetings of this nature. All of the project partners or their representatives took part in the meeting. In addition, a TAAB meeting (TAAB: Technical Academic Advisory Board) was also integrated into the Interaction Week. The TAAB members contributed valuable ideas and suggestions on both the individual projects and the overall philosophy of the collaborative research center.



**Bild 4.27:** SFB/TR-103: Wechselwirkungswoche und Treffen mit dem wissenschaftlichen Beirat in Grainau an der Zugspitze, Februar 2015. **Fig. 4.27:** *SFB/TR 103: Interaction Week and meeting with the Technical Academic Advisory Board (TAAB) in Grainau, near the Zugspitze, February 2015.*



Außerdem wurde der Ablauf der Begutachtung im Juni 2015 geplant. Im Verlauf der Wechselwirkungswoche gab es auch zwei freie Nachmittage, die zum Skifahren genutzt werden konnten. Einige Teilnehmer der Wechselwirkungswoche fuhren mit der Gondel auf die Zugspitze. Es gab im Rahmen der Wechselwirkungswoche ein gemeinsames Abendessen auf einer Berghütte. Gut funktionierte auch die Anreise, der Bochumer Bus lud auf der Hinfahrt einen Teil der Erlanger ein und ließ sie auf der Rückfahrt auch wieder in Erlangen aussteigen.

*In addition, the procedure for the assessment in June 2015 was planned. During the Interaction Week, two free afternoons were scheduled so that those who wanted to ski could do so. Some of the participants in the Interaction Week took the cable car up to the Zugspitze. The Interaction Week program also provided a dinner for all participants in one of the cabins on the mountain. Travel to the venue was also without any problems. The Bochum coach picked up some of the Erlangen participants on the way there and dropped them off again on the way home.*



**Bild 4.28:** Nachbesprechung der Begutachtung des SFB/TR 103 in Erlangen, 12. Juni 2015.

*Fig. 4.28: Debriefing after the assessment of SFB/TR 103 in Erlangen, June 12, 2015.*

**SFB/TR 103 - Antrag zweite Förderphase und Begutachtung:** Bis Ende März musste der Fortsetzungsantrag des SFB/TR 103 fertiggestellt werden. Von unserem Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft waren Frau Suzana Römer, Dr. Klaus Neuking und Herr Frank Smetz intensiv mit der Antragstellung befasst. In Erlangen erledigte Dr. Ralf Rettig in

**SFB/TR 103 - Application stage of the second funding phase and assessment:** The application for continuation of SFB/TR 103 had to be completed by the end of March. From our Chair of Materials Science and Engineering, Ms. Suzana Römer, Dr. Klaus Neuking and Mr. Frank Smetz worked at full speed on the application. In Erlangen, Dr. Ralf Rettig

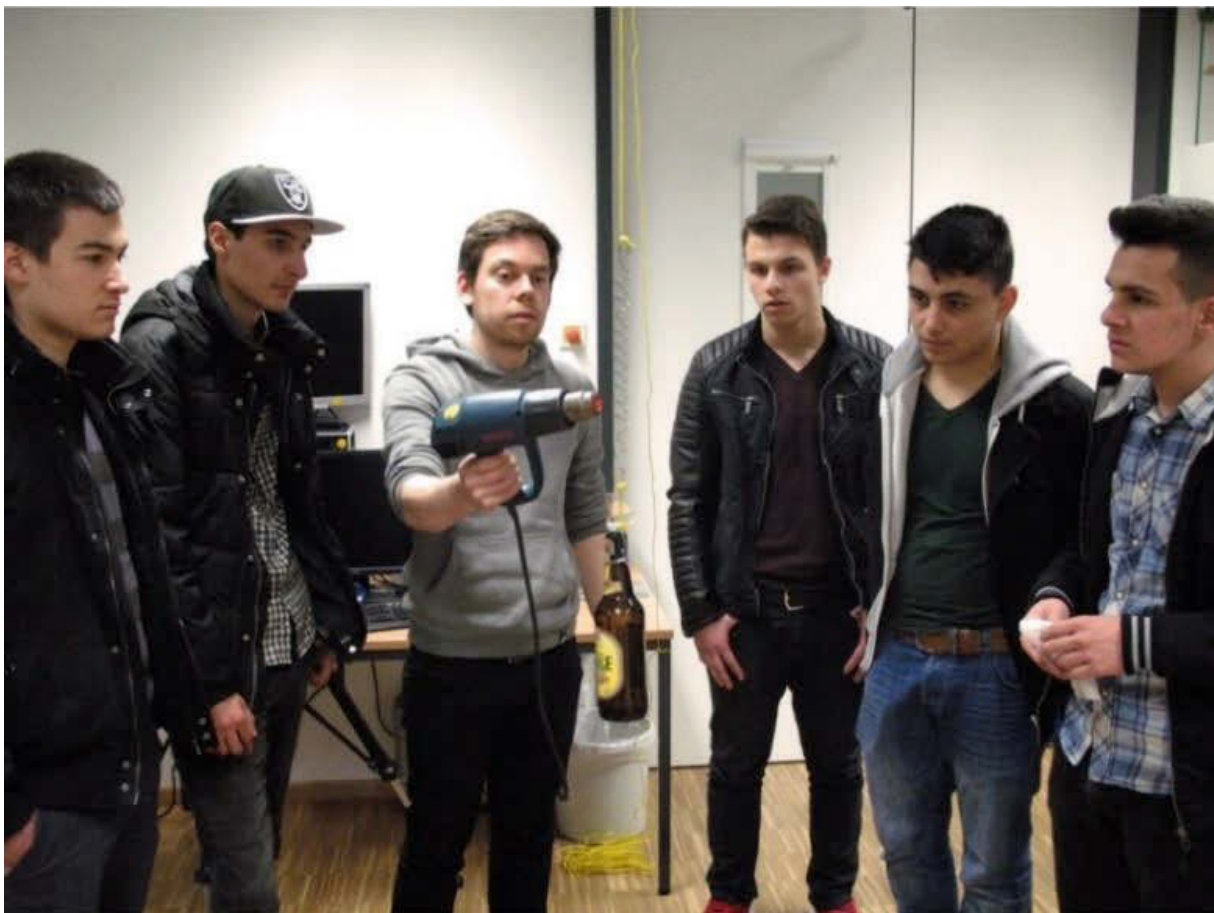


vorbildlicher Weise die koordinativen Aufgaben. Alle Teilprojekte arbeiteten gut zu, und wir konnten den Fortsetzungsantrag pünktlich bei der DFG einreichen. Die Sprecher und die Leiter der Querschnittsgruppen stimmten in der Folgephase ihre Vorträge aufeinander ab. Am 20. und 21. Mai fand in Erlangen die Generalprobe zur Begutachtung statt.

Am Mittwoch, den 10. Juni, war noch einmal Gelegenheit, kritische Punkte gemeinsam zu besprechen. Am 11. und 12. Juni erfolgte dann die Begutachtung. Es verlief alles sehr positiv, und wir konnten mit einer starken Förderempfehlung in die DFG-Senatssitzung Anfang November gehen, wo unser SFB/TR 103 dann für weitere vier Jahre (2016 – 2019) eine Förderzusatz erhielt.

*took care of all the coordination work. All projects contributed new ideas, enabling us to submit the renewal application to DFG on time. In the following months, the speakers and the coordinators of the cross-sectional groups aligned and coordinated their presentations. On May 20 and 21, the rehearsal for the assessment took place in Erlangen.*

*On Wednesday, June 10, there was a further opportunity for everybody to discuss critical issues. And then, on June 11 and 12, the assessment was conducted. In early November, our proposal was presented to the DFG Senate with a strong recommendation from the review panel. It was finally decided that our SFB/TR 103 would be funded for another four years (2016-2019).*



**Bild 4.29:** André Wiczorek führt am Tag der offenen Tür den Einwegeffekt vor.  
**Fig. 4.29:** André Wiczorek demonstrates the one-way shape memory effect at the Open Day.

**Tag der offenen Tür:** Wie jedes Jahr, beteiligte sich der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft an den Vorführungen, die im Rahmen des *Tages der offenen Tür* der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt werden. Im Jahr 2015 fand dieser am 26. März statt. Schüler/innen der gymnasialen Oberstufen erhalten die Gelegenheit, sich einen Eindruck von den Forschungsaktivitäten an der RUB zu verschaffen. Hier zeigt André Wieczorek Schülern von der Wolfgang Borchert-Schule den Formgedächtniseffekt am Beispiel eines NiTi-Aktors, der sich bei Erwärmen zusammenzieht und dabei eine Flasche anhebt.

**Open Day:** As every year, the Chair of Materials Science and Engineering joined in and contributed demonstrations to the Ruhr University Bochum's Open Day. In 2015, it was held on March 26. Pupils from local upper secondary schools were given the opportunity to get an impression of the research activities carried out at the RUB. Below, we see André Wieczorek demonstrating the shape memory effect by means of a NiTi actuator, which contracts when heated, lifting a suspended bottle (of alcohol-free Fiege shandy!) to pupils of the Wolfgang Borchert School in Recklinghausen.



**Bild 4.30:** Präsentation eines Formgedächtnisrads auf der Hannover-Messe.  
**Fig. 4.30:** Presentation of a shape memory wheel at the Hanover Trade Fair.

**Hannover-Messe:** Gelegentlich nimmt unser Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft auch an der Hannover-Messe teil, die im Jahr 2015 vom 13.-17. April ihre Tore geöffnet hatte. Wir waren von unseren

**Hanover Trade Fair:** Occasionally, our Chair of Materials Science and Engineering has a booth at the Hanover Trade Fair, which in 2015 opened its gates to visitors from April 13 to 17. We had been made



Partnern von der Firma Ingpuls (eine Ausgründung aus dem Institut für Werkstoffe) darauf aufmerksam gemacht worden, dass einer der vorgesehenen Aussteller auf einem von der Fraunhofer Gesellschaft organisierten Gemeinschaftsstand Allianz Adaptronik abgesagt hatte. Den frei werdenden Stand konnte Thorsten Birk somit für uns reservieren. Aus Bochum waren Thorsten Birk, Philipp Hallensleben sowie Nikolai und André Wieczorek auf der Hannovermesse, vom KIT war Daniel Wilhelm mit dabei. André stellte auch noch einige Ergebnisse und Exponate zum Ferroic Cooling vor.

*aware by our partners at Ingpuls (a spin-off from the Institute for Materials) that one of the intended exhibitors at the Allianz Adaptronik joint booth organized by the Fraunhofer-Gesellschaft had cancelled. Thorsten Birk, Philipp Hallensleben and Nikolai and André Wieczorek manned the Bochum booth at the Hanover Trade Fair, together with Daniel Wilhelm from KIT. André also presented some results and exhibits on the subject of ferroic cooling (cooling with shape memory alloys). Our shape memory booth enjoyed immense popularity, something that we, in all modesty, have now come to accept.*



**Bild 4.31:** Teilnehmer der Tagung High-Temperature Shape Memory Alloys, die von Prof. H.-J. Maier (Uni Hannover) organisiert wurde. **Fig. 4.31:** Participants of the High-Temperature Shape Memory Alloys conference, organized by Prof. H.-J. Maier (University of Hanover).

**High-Temperature Shape Memory Alloys:** Vom 5. bis 8. Mai 2015 fand die unter der Schirmherrschaft der DGM von unserem Forschungspartner Prof. H.-J. Maier organisierte Tagung zu Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen in

**High-Temperature Shape Memory Alloys:** From May 5 to 8, 2015, a conference on high-temperature shape memory alloys, organized by our research partner Prof. H.-J. Maier, was held under the auspices of the DGM in Wildbad

Wildbad Kreuth, im Tegernseer Tal in der Nähe von München statt. Die Formgedächtnisforscher des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft nahmen geschlossen an der Veranstaltung teil, die sehr gut besucht war und von der sie viele gute Ideen mitbrachten. Weltweit besteht ein starkes Interesse daran, die Schalttemperaturen von Formgedächtnis-Aktuatoren in Temperaturbereiche oberhalb von 100°C zu bringen. Unser Lehrstuhl arbeitet an diesem Thema intensiv mit. In Wildbad Kreuth stellten wir unsere Arbeiten zu TiTa vor, die auf großes Interesse stießen.

**CREEP 2015:** Vom 31. Mai bis zum 4. Juni 2015 reisten die Hochtemperaturforscher unseres Lehrstuhls nach Toulouse, wo die International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials stattfand. Organisator war Prof. Bernard Viguiier von der technischen Universität ENSIACET/Toulouse. Die Konferenz fand in einem sehr modernen Konferenzzentrum, dem Espace Vanel, im Herzen von Toulouse statt. Die Konferenzteilnehmer waren in fußläufigen Hotels in der Innenstadt untergebracht. David Bürger und Hannah Sommer hielten in Toulouse zum ersten Mal Vorträge auf einer internationalen Konferenz. Wie auch schon in Japan 2012, trafen wir wieder Freunde aus aller Welt. Zum Rahmenprogramm der Konferenz gehörten auch eine Führung durch Toulouse, ein Besuch im Aeronautical Museum von Airbus und ein Banquet in den malerischen Ecuries de la Tour in Mondonville.

*Kreuth in the Tegernsee valley near Munich. The entire complement of shape memory researchers from the Chair of Materials Science and Engineering took part in the event, which was very well attended and from which they returned inspired by many great ideas. There is a strong interest worldwide in shifting the switching temperatures of shape memory actuators to temperature ranges in excess of 100°C. Our Chair is also working on this challenge with great vigour. In Wildbad Kreuth, we presented our work on TiTa, which was quite well received.*

*CREEP 2015: From May 31 to June 4, 2015, the high-temperature researchers from our Chair travelled to Toulouse, where the International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials was held. It was organized by Prof. Bernard Viguiier from the Technical University ENSIACET, Toulouse. The conference was held in a modern conference center, the Espace Vanel, in the heart of Toulouse. The attendees were accommodated in hotels downtown. David Bürger and Hannah Sommer delivered their first lectures at an international conference. As in Japan in 2012, we met again many of our friends from the scientific community from all over the world. The conference program included a guided tour of Toulouse, a visit to the Airbus Aeronautical Museum and a conference banquet in the picturesque Ecuries de la Tour in Mondonville.*





**Bild 4.32:** Stand des Instituts für Werkstoffe bei der BlauPause.

**Fig. 4.32:** *Exhibition booth of our Institute for Materials at the BlauPause.*

**50. Geburtstag der RUB:** Im Jahr 2015 wurde unsere RUB 50 Jahre alt. Der Geburtstag wurde mit Stil, zum Ende der Amtszeit unseres Altrektors Prof. Elmar Weiler, gefeiert, in den Medien wurde ausführlich darüber berichtet. Es gab eine Vielzahl von Veranstaltungen, die mit einer Rede des Bundespräsidenten am 7. Juni im Audimax ihren krönenden Abschluss fand. Am Tag zuvor war aber die Blaupause der wohl eindrucksvollste Teil der Gesamtveranstaltung. Die Universitätsstraße war für den Autoverkehr gesperrt, und eine Spur war über mehrere Kilometer mit Ständen belegt, wo viele Gruppen der Ruhr-Universität ihre Aktivitäten vorstellten. Auch das Institut für Werkstoffe war bei der BlauPause vertreten. Unsere 3D-Stereobrille, mit der man Mikrostrukturen dreidimensional wahrnehmen kann und - wie immer - die Formgedächtnisaktorker erfuhren besonderes Interesse. Viele Bürger/innen, insbesondere viele unserer Ehemali-

**50th Anniversary of the RUB:** In 2015, our university completed its 50<sup>th</sup> anniversary. The anniversary was celebrated in great style, at the end of the term of office of our Rector Prof. Elmar Weiler. A variety of events was organized and on June 7, the President of the Federal Republic of Germany gave a speech. During the BlauPause, the University Street was closed to traffic, and on one side of the road booths were set up extending over several kilometres, where many groups from the Ruhr University presented their activities. The Institute for Materials also took part in the BlauPause. One of the exhibits shown by the Chair of Materials Science and Engineering was our 3D stereo glasses, with which microstructures that have been captured by the transmission electron microscope can be seen in three dimensions, and – as always – the shape memory actuator technology attracted huge interest. A great number of

gen, besuchten bei der BlauPause den Stand des Instituts für Werkstoffe, den unser Nachbarlehrstuhl WT organisiert hatte und an dem das Institut geschlossen anwesend war. Auch Bundestagspräsident, Dr. Norbert Lammert (ein Absolvent unserer Hochschule), und unsere frühere langjährige Oberbürgermeisterin, Frau Dr. Ottilie Scholz, blickten durch unsere Stereobrille.

*people from our region, especially many of our alumni, visited the Institute for Materials' booth during the BlauPause, which our neighboring Chair WT had organized and where all of the Institute's staff were in attendance. Even the President of the Bundestag Dr. Norbert Lammert (a graduate of our university) and our former Mayor Dr. Ottilie Scholz tried out our stereo spectacles.*



**Bild 4.33:** Bochumer Teilnehmer bei der ICSMA 17 mit Conference Chairman Prof. Antonin Dlouhy. **Fig. 4.33:** Participants from Bochum at ICSMA 17 with Conference Chairman Prof. Antonin Dlouhy.

**ICSMA 17:** Im Jahr 2015 fand zum 17. Mal eine ICSMA-Konferenz statt. ICSMA steht für International Conference on Strength of Materials. Diesmal wurde sie in Brno / Tschechien von Antonin Dlouhy vom Institute of Physics of Materials organisiert. Die Konferenz fand vom 9. bis zum 14. August 2015 statt, und obwohl es sehr heiß war und die Konferenz mitten in der Ferienzeit lag, war sie sehr gut besucht. Es gab viele

*ICSMA 17: In 2015, the 17th ICSMA (International Conference on Strength of Materials) conference took place. This time, it was organized in Brno, Czech Republic, by Antonin Dlouhy and his colleagues at the Institute of Physics of Materials. The conference was held on August 9-14, 2015, and although it was very hot and despite the fact that the conference took place in the middle of the holidays, it was well attended.*



interessante Sessions aus allen Bereichen der mechanischen Eigenschaften. Von unserem Lehrstuhl gab es Beiträge von Guillaume Laplanche (Nanoindentation von NiTi), Nikolai Wiczorek (In-situ-Mikroscherversuche an verfestigten Kupfereinkristallen), Thorsten Birk (Processing und Zwillingselastizität) und Gunther Eggeler (strukturelle und funktionelle Ermüdung von Formgedächtnislegierungen). Der ICSMA sind wir seit langem eng verbunden.

*There were contributions from our Chair by Guillaume Laplanche (nanoindentation of NiTi), Nikolai Wiczorek (in-situ micro-shear tests of pre-deformed copper monocrystals), Thorsten Birk (processing and twinning-induced elasticity) and Gunther Eggeler (structural and functional fatigue of shape memory alloys). For many years, the ICSMA series of conferences has been closely connected with our Chair.*



**Bild 4.34:** Bilder vom Institutsausflug 2015 zum Schiffshebewerk Henrichenburg.  
**Fig. 4.34:** Pictures from the Institute's outing 2015 to the Henrichenburg ship hoist.

**Institutsausflug 2015:** Der Institutsausflug 2015 wurde vom Lehrstuhl von Alfred Ludwig organisiert. Es ging zum Schiffshebewerk Henrichenburg. Auf dem Dortmund-Ems-Kanal wurde eine Bootsfahrt unternommen.

**Institute outing 2015:** The institute outing 2015 took place at the Henrichenburg ship hoist. It was organized by Prof. Ludwig's group. The members of the Institute for Materials undertook a boat trip on the Dortmund-Ems Canal.

**20 Jahre an der RUB:** In das Jahr 2015 fiel auch mein 20jähriges Dienstjubiläum. Ich hatte im April 1995 die Leitung des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft übernommen. Aus diesem Anlass gab es vom 19. bis zum 21. August ein Symposium mit dem Titel *Recent Progress in Phase Transformations and Plasticity*, das ich gemeinsam mit Prof. Easo George organisierte, der gerade sein erstes Jahr an der Ruhr-Universität verbrachte. Viele wissenschaftliche Freunde aus aller Welt lieferten interessante Beiträge zu dem Symposium.

**20 years at the RUB:** My 20th anniversary in office also fell in 2015. The occasion was marked by a symposium entitled *Recent Progress in Phase Transformations and Plasticity* that took place on August 19-21; I organized it together with Prof. Easo George who had just spent his first year at the Ruhr University. Many friends from all over the world provided exciting contributions to the symposium.



**Bild 4.35:** TeilnehmerInnen am Recent Progress in Phase Transformation and Plasticity Symposium.

**Fig. 4.35:** Participants in the symposium *Recent Progress in Phase Transformations and Plasticity*.

Zu den internationalen Gästen zählten Jafar Khalil-Allafi (Sahand University of Technology Tabriz, Iran), Bernard de Mestral (Alcoa Europe Geneva, Schweiz), Antonin Dlouhy (Institute of Physics of

*The international guests included Jafar Khalil-Allafi (Sahand University of Technology Tabriz, Iran), Bernard de Mestral (Alcoa Europe Geneva, Switzerland), Antonin Dlouhy (Institute of Physics of*



Materials Brno, Tschechische Republik), Jim Earthman (University of California, Irvine), Haruyuki Inui (Kyoto University, Japan), Muthuswamy Kamaraj (IIT Madras, Chennai, India), Mike Mills (The Ohio State University, USA), Eric Payton (Alfred University, USA), George Pharr (University of Tennessee, USA), Tamás Ungár (Budapest Eötvös University, Ungarn), Bernard Viguiier (Institute Carnot Cirimat Toulouse, France), Yunzhi Wang (Ohio State University, USA), Wolfgang Windl (The Ohio State University, USA), Alejandro Yawny (Instituto Balseiro Bariloche, Argentinien) und Zhonghua Zhang (Shandong University, China). Alle internationalen Gäste hatten unseren Lehrstuhl zum Teil für längere Forschungsaufenthalte besucht und kamen gerne wieder nach Bochum zurück, wo sie alte Bekannte wieder trafen.

*Materials Brno, Czech Republic), Jim Earthman (University of California, Irvine, U.S.), Haruyuki Inui (Kyoto University, Japan), Muthuswamy Kamaraj (IIT Madras, Chennai, India), Mike Mills (The Ohio State University, U.S.), Eric Payton (Alfred University, U.S.), George Pharr (University of Tennessee, U.S.), Tamás Ungár (Budapest Eötvös University, Hungary), Bernard Viguiier (Institute Carnot Cirimat Toulouse, France), Yunzhi Wang (The Ohio State University, U.S.), Wolfgang Windl (The Ohio State University, U.S.), Alejandro Yawny (Instituto Balseiro Bariloche, Argentina) and Zhonghua Zhang (Shandong University, China). All of the international guests had previously visited our Chair, some of them for extended periods of research. They were delighted to return to Bochum, where they met with old friends.*



**Bild 4.36:** TeilnehmerInnen am Recent Progress in Phase Transformation and Plasticity Symposium Dinner.

**Fig. 4.36:** Participants in the symposium Recent Progress in Phase Transformations and Plasticity Dinner.

Aus Deutschland lieferten Leonardo Agudo Jacome (BAM), Uwe Glatzel (Universität Bayreuth), Dierk Raabe (MPIE Düsseldorf), Birgit Skrotzki (BAM), Martin Wagner (TU Chemnitz) Beiträge zum Programm. Die Ruhr-Universität Bochum, die Fakultät für Maschinenbau und unser Institut für Werkstoffe waren durch Rektor Elmar Weiler, Dekan Roland Span und Prof. Werner Theisen (damals Geschäftsführender Direktor des Instituts für Werkstoffe) vertreten. Einige Kollegen vom Institut für Werkstoffe und vom ICAMS trugen auch zur Veranstaltung bei. Am Donnerstag, den 20. August, gab es ein Symposiums-Dinner, nachdem Prof. Haël Mughrabi von der Friedrich Alexander Universität Erlangen einen Vortrag über die Geschichte des Jazz von 1900 bis 1965 hielt. Alle Mitglieder der Institutsband wirkten trotz Ferienzeit an einem Konzert mit, das im großen Foyer des Audimax der RUB das Kolloquium am Freitagabend abschloss.

*Making contributions to the program from Germany: Leonardo Agudo Jacome (BAM), Uwe Glatzel (University of Bayreuth), Dierk Raabe (MPIE Dusseldorf), Birgit Skrotzki (BAM) and Martin Wagner (TU Chemnitz). The Ruhr University Bochum, the Faculty of Mechanical Engineering and our Institute for Materials were represented by Rector Elmar Weiler, Dean Roland Span and Prof. Werner Theisen (Managing Director of the Institute for Materials at the time). Other colleagues from the Institute for Materials and from ICAMS also contributed to the event. On Thursday, August 20, a lecture on the history of jazz from 1900 to 1965 was given by Prof. Haël Mughrabi from the Friedrich Alexander University of Erlangen, followed by the symposium dinner. In spite of the holidays, all of the members of the Institute's band were present and swung into action on Friday night with a concert, which concluded the colloquium.*



**Bild 4.37:** Bowling im Oktober 2015.

*Fig. 4.37:* Bowling October 2015.



**Bowling, Oktober 2015:** Einmal im Jahr gehen die Doktorandinnen und Doktoranden mit allen Gästen des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft zum Bowling im Bochumer Bowlingtreff in die Herner Straße. Diesmal mit dabei waren Xinwang Liu, ein Gastwissenschaftler aus China (im Bild hinten rechts), und Marta Alvarez, eine Austauschstudentin aus Spanien (vorne rechts).

**Bowling, October 2015:** Once a year, the PhD students go bowling with all the guests of the Chair of Materials Science and Engineering to the Bochum Bowling Alley in Herner Strasse. This time, Xinwang Liu, a visiting scientist from China (pictured on the right at the back), and Marta Alvarez, an exchange student from Spain (front right), were on the team.



**Bild 4.38:** Forschungsgruppe von Prof. Victoria Yardley im September 2014.  
**Fig. 4.38:** Research group of Prof. Victoria Yardley in September 2014.

**Abschiedskolloquium Victoria Yardley:** Am 11. Dezember veranstalteten wir zu Ehren von Frau Prof. Victoria Yardley ein Abschlusskolloquium. Nach sechs Jahren war die Zeit, die sie als Juniorprofessorin bei uns an der RUB verbrachte, abgelaufen. Das Kolloquium wurde vom Institut für Werkstoffe und vom ICAMS gemeinsam veranstaltet. Als auswärtige Gäste waren die Martensitforscher Carlos Capdevila Montes from CENIM-CSIC,

**Farewell colloquium for Victoria Yardley:** On December 11, we held a farewell colloquium in honor of Prof. Victoria Yardley; after six years, her appointment with us as a junior professor at the RUB came to an end. The colloquium was jointly organized by the Institute for Materials and ICAMS. The martensite researchers Carlos Capdevila Montes from CENIM-CSIC, Spain, and Sarah Löwy from the Max Planck



Spanien und Sarah Löwy vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, Stuttgart gekommen. Victoria Yardley hielt einen Abschlussvortrag mit dem Titel *Statistische Methoden zur Beschreibung von Martensitischen Mikrostrukturen mit Hilfe der orientierungsabbildenden Rasterelektronenmikroskopie*. Victoria Yardley hat in Bochum Akzente im Bereich der orientierungsabbildenden Rasterelektronenmikroskopie und im Bereich von thermodynamischen Rechnung mit MatCalc gesetzt. Sie baute den ICAMS-Studiengang Materials Science and Engineering mit auf, wo sie die Einführungsvorlesung Elements of Microstructure konzipierte. Bei uns hat sie die Doktorarbeiten von Shirin Fahimi (Kriechrischwachstum), Hongcai Wang (Einfluss von Bor auf die Kriechfestigkeit), Alexander Straumal (Rolle von Korngrenzen beim partiellen Aufschmelzen) und Pascal Thome (REM von martensitischer Mikrostrukturen) betreut.

*Institute in Stuttgart attended as guests. Victoria Yardley summarized her work in a lecture on statistical methods for describing martensitic microstructures by means of orientation imaging SEM. Victoria Yardley was a trend-setter at the Institute for Materials and ICAMS in the field of orientation imaging scanning electron microscopy and in the field of thermodynamic calculation with MatCalc. She was instrumental in establishing and building out the ICAMS course of Materials Science and Engineering, for which she drafted the introductory lecture, Elements of Microstructure. At the Chair of Materials Science and Engineering, she supervised the doctoral theses of Shirin Fahimi (Role of prior austenite grain boundaries in creep crack growth in tempered martensitic steels), Hongcai Wang (On the influence of boron on the creep resistance of chromium steels), Alexander Straumal (On the role of grain boundaries during partial melting in two phase regions) and Pascal Thome (Orientation imaging scanning electron microscopy of martensitic microstructures).*

**2016:**

**Fünf Großgeräteanträge:** Im Jahr 2016 haben wir fünf Großgeräteanträge verfasst und eingereicht - so viel wie im Umfeld des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft noch nie zuvor in einem Jahr. Als Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft haben wir für unsere eigenen Forschungszwecke zwei Anträge verfasst, für Geräte, die wir im Rahmen unserer SFB/TR 103-Projekte A1 und A2 brauchten. Dabei ging es einmal um eine elektromechanische Prüfmaschine für Hochtemperaturversuche bis 1100°C. Zum anderen musste ein neues Rasterelektronenmikroskop für Schädigungsuntersuchungen an gekrochenen Proben beschafft werden. Dabei handelt es sich um ein LaB<sub>6</sub>-Gerät mit EDX und EBSD-Zusätzen. Norbert Lindner war mit diesem Antrag befasst. Gleich drei Großgeräteanträge für das neue ZGH der Ruhr-Universität Bochum (Zentrum für grenzflächendominierte Höchstleistungswerkstoffe) verfasste Christoph Somsen mit Unterstützung von Aleksander Kostka (zuständig für TEM im ZGH). Diese Großgeräteanträge betrafen eine FIB-Anlage für die Präparation von APT- und TEM-Proben, ein analytisches Rasterelektronenmikroskop und ein hochauflösendes Transmissionselektronenmikroskop. Diese Geräte waren bereits bei Bewilligung des ZGH-Antrags der Ruhr-Universität zur Beschaffung empfohlen, mussten aber gleichwohl noch einmal über die Großgeräteschiene beantragt und von der DFG begutachtet und bewilligt werden. Die Begutachtung aller ZGH-Geräte, zu denen die drei oben genannten gehörten, fand am Montag den 18. April statt. Wer mit Großgeräteanträgen vertraut ist, weiß, dass zunächst intern eine Reihe von Dingen zu klären sind, die die Aufstellung der Geräte und deren Betrieb sowie anfallende Betriebskosten betreffen. Es muss mit den Firmen verhandelt werden, was sorgfältige Vorbereitung, intensive Diskussionen und Besuche bei den Firmen erfordert. Was die ZGH-Geräte betrifft, so mussten auch Zwischen-

**2016:**

*Applications for five major pieces of equipment:* In 2016, we prepared and submitted five applications for major pieces of equipment that were all recommended for funding. We submitted two applications for equipment needed for our A1 and A2 SFB/TR 103 projects. One of them was for an electro-mechanical testing machine for high-temperature tests up to 1100°C. The objective of the other one was to procure a new scanning electron microscope for the investigation of damage in creep samples. We needed an LaB<sub>6</sub> instrument with EDX and EBSD. Norbert Lindner dealt with this application. Three applications for major pieces of equipment for the new ZGH (ZGH = Center for Surface-Dominated High-Performance Materials) were written by Christoph Somsen, supported by Aleksander Kostka (responsible for TEM at the ZGH). These applications were for a FIB system for the preparation of APT and TEM samples, an analytical SEM and a high-resolution transmission electron microscope. These instruments had already been recommended for procurement when the ZGH was approved; nevertheless, an application had to be made via the official channel for large equipment that was then reviewed by the DFG. The assessment of all of the ZGH equipment, including these three instruments, took place on Monday, April 18. Those familiar with applications for large pieces of equipment at German universities know that first a number of details need to be sorted out regarding the installation of the equipment, its operation and operating costs. Negotiations with the companies require careful preparation, intense discussions and visits. As far as the ZGH equipment was concerned, interim solutions were necessary for the equipment, because the work on the building was delayed. The procurement and installation of the new electron microscopes for the ZGH kept us busy well beyond the end of 2016.

lösungen für die Aufstellung der Geräte gefunden werden, da sich die Fertigstellung des ZGH-Gebäudes verzögerte.



**Bild 4.39:** Mit den Gründern von Ingpuls, Rektor Prof. Schölmerich, Bochums Oberbürgermeister Eiskirch und Vorsitzender der IHK Weik bei der BOKOMAT, September 2016.

*Fig. 4.39: The founders of Ingpuls with Rector Prof. Schölmerich, Bochum's Head Mayor Eiskirch and the Managing Director of the Chamber of Commerce and Industry, Mr. Weik.*

**BOKOMAT 2016:** Am 15. und 16. September veranstaltete unser Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft gemeinsam mit der Firma Ingpuls wieder eine BOKOMAT. Die Firma Ingpuls ist eine Ausgründung aus unserem Institut für Werkstoffe, Burkhard Maaß und Christian Großmann, zwei der drei Geschäftsführer, haben bei uns promoviert. Im Jahr 2016 nahm Ingpuls eine eigene Produktion auf, wobei die Mitarbeiterzahl auf 20 angestiegen ist. Ingpuls setzte dazu einen Teil des Wissens um, das im SFB459 (Formgedächtnistechnik) erarbeitet wurde, dies betrifft insbesondere die Ergebnisse zum Erhitzen von Legierungen mit präzisen Zusammensetzungen und das Umformen und Wärmebehandeln. Natürlich gehört zur Umsetzung einer Geschäftsidee sehr viel mehr als nur das Erarbeiten von Wissen und das Verfassen von Publi-

***BOKOMAT 2016:** On September 15-16, our Chair of Materials Science and Engineering organized another BOKOMAT together with Ingpuls. Ingpuls originated as a spin-off from our Institute for Materials. Burkhard Maaß and Christian Großmann, two of the three managing directors, did their doctorates in our group. The big news in 2016 was that Ingpuls had started its own production and that the number of employees had risen to 20. Ingpuls could build on part of the knowledge that was gained within the Collaborative Research Center SFB459 (Shape Memory Technology), in particular the melting of alloys with precise compositions, the thermomechanical treatments and wire drawing know-how. Of course, the implementation of a business idea entails far more than simply the acquisition of knowledge and writing*



kationen. Die Geschäftsführer von Ingpuls haben aber gezeigt, dass sie auch diese Seite des Unternehmertums beherrschen, ab 2016 läuft es bei Ingpuls gut.

Am Donnerstagmorgen begrüßten der Rektor der RUB, Prof. Schölmerich, der Bochumer Oberbürgermeister, Herr Eiskirch, und der Vorsitzende der Industrie und Handelskammer, Herr Weik, die BOKOMAT-Teilnehmer. An die Vortragsveranstaltung schloss sich ein gemütliches Beisammensein in unserer Werkstoffhalle an. Am Freitag gab es bis in den frühen Nachmittag hinein wieder Vorträge. Den Abschluss bildete eine Podiumsdiskussion. Besondere Aufmerksamkeit erfuhren bei der BOKOMAT 2016 die additiven Fertigungsverfahren und deren möglicher Einfluss auf die Formgedächtnistechnik und die Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen, beides Felder, die derzeit stark im Wachstum begriffen sind.

*scientific publications. The managing directors of Ingpuls have demonstrated that they have mastered this aspect of entrepreneurship too, and from 2016 on, Ingpuls started growing.*

*On Thursday morning, the BOKOMAT participants were welcomed by Rector. Schölmerich, by the Mayor of Bochum, Mr. Eiskirch, and by the Director of the Chamber of Commerce, Mr. Weik. On the first day, presentations were followed by a guided tour of the IFM laboratories and a convivial gathering in our materials testing hall. On Friday, further lectures were held, continuing into the early afternoon. The day ended with a panel discussion. Additive manufacturing processes and their influences on shape memory technology and high-temperature shape memory alloys were in the focus of BOKOMAT 2016; both fields are currently undergoing a phase of strong growth.*



**Bild 4.40:** Frau Kornelia Strieso führt die neuen Auszubildenden, Clara Pohl und Meinert Hansen, in die Lichtmikroskopie ein, Oktober 2016.

**Fig. 4.40:** Kornelia Strieso introduces the two new apprentices, Clara Pohl and Meinert Hansen, to optical microscopy, October 2016.

**Zwei neue Auszubildende im Fach Werkstoffprüfung:** Während 2016 Marvin Hildebrandt bereits dem Ende seiner Ausbildung als Werkstoffprüfer am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft entgegenblickte und schon voll in das Tagesgeschäft eingebunden war, begannen Clara Pohl und Meinert Hansen mit der Ausbildung im Oktober 2016.

*Two new materials testing apprentices: In 2016, Marvin Hildebrandt was approaching the end of his training and was already fully involved in the day-to-day business of our Chair. In October 2016, Clara Pohl and Meinert Hansen started their training at our Chair.*

**Rückbau und Neubau der Gebäude IA und IB / Neubau ZGH:** Die Jahre 2015/16 waren durch intensive Bauarbeiten im Bereich der Nordstraße geprägt. Die benachbarten Gebäude IA und IB wurden abgerissen und neu aufgebaut. Wir zeigen ein Bild vom im Abriss befindlichen Gebäude IA. Links oben erkennt man noch Reste des Raumes, der einmal unser Kriechlabor war.

*Demolition and new construction of buildings IA and IB/New ZGH: 2015-16 was marked by intensive construction work in our RUB North Street. The neighboring buildings IA and IB were torn down and rebuilt. The picture shows the IA building in the process of demolition. On the upper left, you can see the ruins of the room, which used to be our creep lab.*



**Bild 4.41:** Abriss des Gebäudes IA im Januar 2015, man erkennt noch oben links den Raum, in dem unser Kriechlabor war. **Fig. 4.41:** Demolition of the old building IA. The room that housed our creep laboratory can still be seen on the upper left, January 2015.

Im Oktober 2016 sind die Neubauten von IA und IB als Rohbauten bereits weit fortgeschritten. Die Ruhr-Universität Bochum wurde im Stil der Hochmoderne mit Anleihen an den Bauhausstil gebaut.

*In October 2016, the new IA and IB buildings were already well advanced as shell structures. The Ruhr University Bochum was built as an ultra-modern campus, borrowing elements from the*

Beton galt in den 60er Jahre als moderner und innovativer Baustoff. Die Ruhr-Universität Bochum steht unter Denkmalschutz, deshalb mussten die Gebäude IA und IB nach dem Abriss wieder so errichtet werden, dass die Silhouette erhalten bleibt. In die Mitte zwischen diese beiden Gebäude wurde unser neues Forschungszentrum für grenzflächendominierte Höchstleistungswerkstoffe (ZGH) gebaut. Die Baumaßnahmen wurden Ende 2016 formal eingeleitet.

*Bauhaus style. In the 1960s, concrete was viewed as a modern and innovative building material. The Ruhr University Bochum is a listed campus, enjoying the protection afforded to historical buildings. After demolition, the IA and IB buildings had to be rebuilt in such a way as to retain the original silhouette. In the gap between these two buildings, our new research centre for interface-dominated high performance materials (ZGH) was built.*



**Bild 4.42:** Die Rohbauten der wiederaufgebauten Gebäude IA und IB sind im Oktober 2016 bereits weit fortgeschritten. Zwischen diese beiden Gebäude kommt das neue Forschungszentrum ZGH.

*Fig. 4.42:* The new construction of buildings IA and IB is already at an advanced stage in October 2016. The new research center ZGH is now located between these two buildings.

#### **Ausscheiden von Meister Peter Anlauf:**

Ende 2016 schied unser Werkstattmeister, Peter Anlauf, aus dem aktiven Dienst aus. Er war der Meister der Werkstatt des Instituts für Werkstoffe und hat über fast drei Jahrzehnte mit zu den Forschungserfolgen des Instituts für Werkstoffe beigetragen. Am Institut für Werkstoffe werden nicht nur Forschungsapparaturen aufgebaut. Die Herstellung präzise gefertigter mechanischer Proben aus hochfesten Materialien spielt auch eine zentrale Rolle. Hier konnten wir immer auf Peter Anlauf zählen.

#### **Departure of Peter Anlauf, our workshop manager:**

*At the end of 2016, our workshop manager, Peter Anlauf, retired from active service. He was the workshop manager of our Institute for Materials over almost three decades and contributed to our research achievements throughout that time. At the Institute for Materials, the machining of research apparatus is not the only job to be done. The production of precise mechanical samples from high-strength materials is equally important. We could always rely on Peter Anlauf in all these matters.*



**Materials Day 2016:** Es ist bereits zur Tradition geworden, dass das Materials Research Department der Ruhr-Universität Bochum (MRD, Sprecher: R. Drautz und G. Eggeler) gemeinsam mit der International Max-Planck Research School for Surface and Interface Engineering of Advanced Materials (SurMat, E. Gattermann und C. Somsen) einen gemeinsamen Materials Day veranstaltet. Dieser fand am 25. Oktober 2016 im Veranstaltungszentrum der Ruhr-Universität Bochum statt und wurde sowohl von der SurMat-Stipendiaten aus aller Welt als auch von den Materialwissenschaftlern der Ruhr-Universität Bochum gut besucht. Die wissenschaftlichen Vorträge reichten von Versetzungsreaktionen in einkristallinen Ni-Basis-Superlegierungen bis zum Transport von Phononen über Grenzflächen in Dünnschichtsystemen. Alle Nachwuchswissenschaftler nutzten die Gelegenheit, ihre Arbeiten in einer Postershow zu präsentieren und ihre Ergebnisse mit anderen Materialforschern zu diskutieren.

*Materials Day 2016: It has become an established tradition that the Materials Research Department at the Ruhr University Bochum (MRD, Speakers: R. Drautz and G. Eggeler) in collaboration with the International Max Planck Research School for Surface and Interface Engineering of Advanced Materials (SurMat, E. Gattermann and C. Somsen) organize the RUB Materials Day together. In 2016, the event was organized on October 25, at the Conference Center of the Ruhr University Bochum. The Materials Day was well attended by both the SurMat doctoral students from all over the world and the materials scientists from the Ruhr University Bochum. The presentations dealt with subjects ranging from dis-location plasticity in single crystal Ni-base superalloys to the transmission of phonons across interfaces in thin film systems. Many young materials scientists seized the opportunity to present their work in a poster show and to discuss their results with other materials researchers.*



**Bild 4.43:** Mitglieder der SurMat am Materialwissenschaftlichen Tag der RUB 2016.

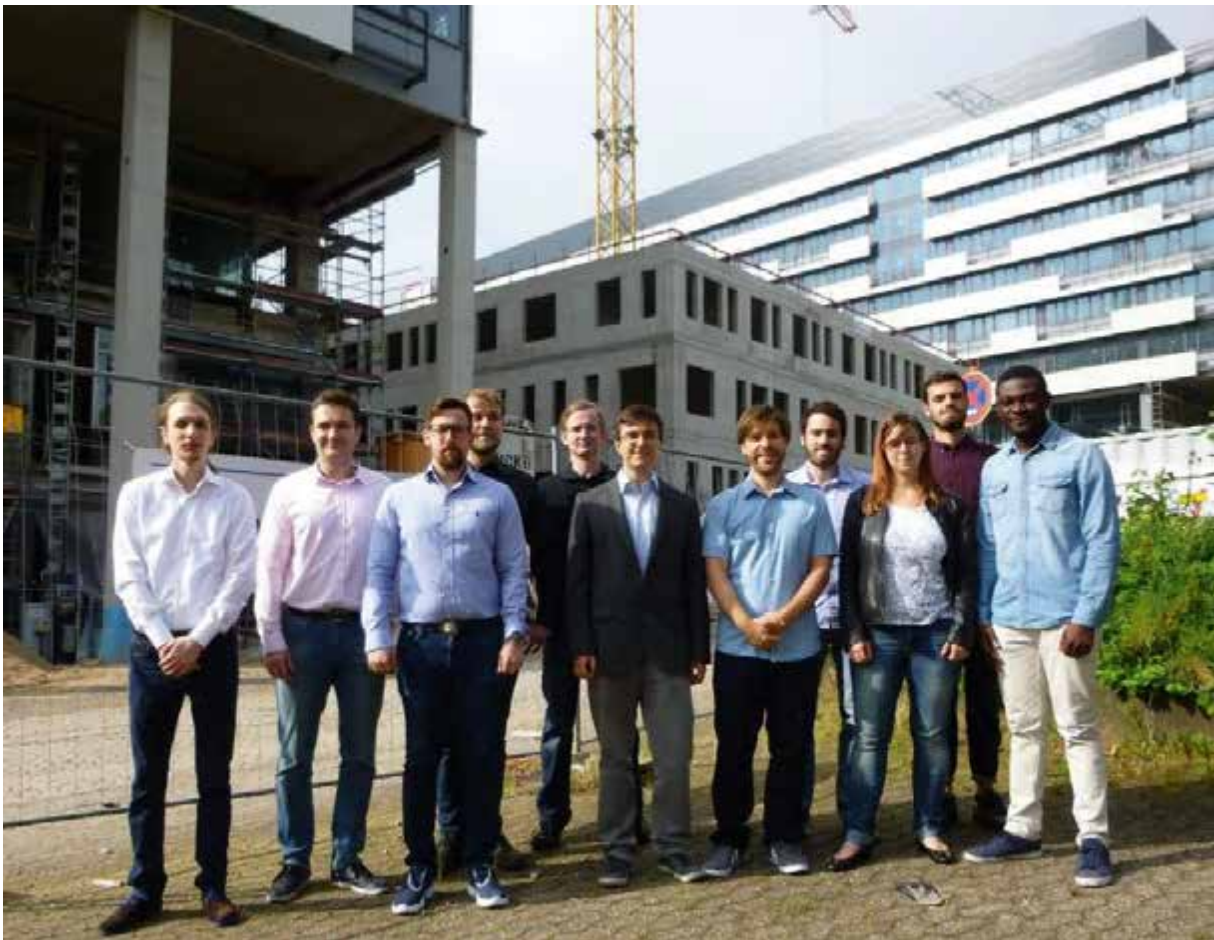
*Fig. 4.43: Members of SurMat at the RUB's Materials Days 2016.*

**Juniorprofessur Mikrostruktur von Werkstoffen:** Im Oktober 2016 wurde Dr. Guillaume Laplanche auf eine Juniorprofessur mit dem Titel *Mikrostruktur von*

*Junior Professorship in Materials' Micro-structures:* In October 2016, Guillaume Laplanche was appointed Junior Professor in the research area of

*Werkstoffen* berufen. Guillaume kam aus Frankreich an das Institut für Werkstoffe. An der Universität von Poitiers hat er bei Prof. Joël Bonneville zum Thema „Herstellung und Charakterisierung von Verbundwerkstoffen mit Al-Matrix verstärkt durch Quasikristall-Teilchen“ gearbeitet. In Bochum ist er seit 2011, wo seine Forschung zunächst von der AvH-Stiftung finanziert wurde. Hier hat er sich zunächst mit mikromechanischen Untersuchungen an NiTi-Formgedächtnislegierungen beschäftigt. Nach Abschluss dieses Projekts begann er in einem DFG-Projekt an High Entropy Alloys zu arbeiten. Über seine Juniorprofessur bringt er dieses attraktive Forschungsthema am Institut für Werkstoffe der RUB ein.

materials and microstructures. *Guillaume joined the Institute for Materials of the RUB after he had majored in physics and chemistry at the University of Poitiers in France. Under the aegis of Prof. Joël Bonneville, he worked on advanced Al composite materials reinforced with quasicrystalline particles. When he arrived in Bochum in 2011, he started to work on the micro-mechanics of NiTi shape memory alloys, funded by an AvH grant. He then started to work on high-entropy alloys with his first DFG project in 2014. Today, he represents this research topic at the Institute for Materials at the Ruhr-University Bochum, with a special focus on the relations between microstructure and mechanical properties.*



**Bild 4.44:** Juniorprofessor Guillaume Laplanche (Mitte) mit seiner Gruppe vor dem Rohbau des neuen Forschungszentrums ZGH. **Fig. 4.44:** Junior Professor Guillaume Laplanche (centre) and his group. In the background: the building for the new research center ZGH (in construction).





**Bild 4.45:** Zwillingspaare am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft, Oktober 2016: Links die Brüder Maihöfer und rechts die Brüder Wiczorek. *Fig. 4.45: Two pairs of twins at the Chair for Materials Science and Engineering, October 2016: the Maihöfers (left) and the Wiczoreks (right).*

**Zwillinge:** In diesem Abschnitt geht es nicht um Zwillingbildung in Metallen. Es geht auch nicht um ein eigentliches Ereignis. Es ist aber durchaus der Erwähnung wert, dass im Berichtszeitraum zwei Zwillingspaare am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft tätig waren, die Maihöfers und die Wiczoreks. Christian Maihöfer arbeitete in seiner Bachelorarbeit an Scherkriechversuchen an einkristallinen Superlegierungen. Seine Ergebnisse stellte er auf der internationalen Kriechkonferenz in Toulouse 2015 vor. Als Studierender des Studiengangs *Sales Engineering und Project Management (SEPM)* wird er seine Masterarbeit im Rahmen einer deutsch-afrikanischen Zusammenarbeit in Ghana durchführen. Sven Maihöfer, auch ein SEPM-Student, forschte in seiner Bachelorarbeit zur mikrostrukturellen Homogenität in polykristallinen Superlegierungen. Die beiden Wiczoreks haben im November 2016 ihre Doktorarbeiten abgeschlossen. Nikolai Wiczorek arbeitete an Mikroscherversuchen, die in-situ

**Twins:** *No, this section is not about twinning in metals. Nor is it about any particular event. But it is well worth mentioning that not one but two pairs of twins formed part of our team during the reporting period: the Maihöfers and the Wiczoreks. Christian Maihöfer focused in his bachelor thesis on the investigation of shear creep in single crystal Ni-base superalloys. He presented part of his results at the International Creep Conference in Toulouse in 2015. As a student of Sales Engineering and Project Management (SEPM), he went on to work on his master thesis as part of a German-African collaboration in Ghana. Sven Maihöfer, also a SEPM student, carried out research for his bachelor thesis on microstructural homogeneity in polycrystalline superalloys. Both Wiczoreks completed their doctoral theses in November 2016. Nikolai Wiczorek worked on micro-shear tests that could be performed in-situ, in a scanning electron microscope. He investigated micromechanical aspects of super-*



im Rasterelektronenmikroskop durchgeführt werden konnten. André Wieczorek entwickelte eine Formgedächtnislegierung auf NiTi-Basis, die für Kühlzwecke eingesetzt werden kann. Sein Projekt war im DFG-Schwerpunktprogramm *Ferroic Cooling* angesiedelt, in dem unser Lehrstuhl mit Kollegen von der Universität Saarbrücken zusammenarbeitet.

*alloy anisotropy. André Wieczorek developed a shape memory alloy based on NiTi, which can be used for cooling purposes. His project was embedded into the DFG priority program on Ferroic Cooling, where our group collaborated with shape memory researchers from the University of Saarland in Saarbrücken.*



**Bild 4.46:** Abendessen beim Lehrstuhlausflug in Köln in *Peters Brauhaus* in der Kölner Altstadt, November 2016.

**Fig. 4.46:** *Dinner in Peters Brauhaus restaurant in the old town of Cologne, November 2016.*

#### **Lehrstuhlausflug nach Köln und Bonn:**

Im Jahr 2016 gab es wieder einen Lehrstuhlausflug. Am Mittwoch den 2. November besuchten wir das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) in Köln. Dort empfingen uns als Gastgeberin Frau Prof. Marion Bartsch vom Institut für Werkstoff-Forschung und unser früherer Mitarbeiter, Herr Dr. Mathias Kolbe. Nach einem Mittagsimbiss und einer interessanten Führung durch die Labore des DLR ging es zum Hotel *Motel One Köln-Waidmarkt*. Nach dem Einchecken gab es für alle Currywurst, danach schloss sich eine Führung durch die Kölner Innenstadt an. Es folgte der Besuch des Musicals

*Chair excursion to Cologne: In 2016, the excursion of our group led us to Cologne and Bonn. On Wednesday November 2, we visited the German Centre for Aerospace Research (DLR) in Cologne, where we were hosted by Prof. Marion Bartsch from the Institute for Materials Research and by Dr. Mathias Kolbe from the Institute for Materials Physics in Space. After a light lunch and an interesting tour of the DLR labs, we headed for the hotel Motel One in Cologne-Waidmarkt. After checking in, everybody sat down and enjoyed currywurst. Afterwards, the participants enjoyed a guided tour of the town center of Cologne. This was followed by a visit to the*

*Bodyguard* im Kölner Musical Dome. Der erste Exkursionstag endete mit einem gemeinsamen Abendessen in *Peters Brauhaus* in der Kölner Altstadt.

*musical Bodyguard in the Cologne Musical Dome. The first day of the excursion was nicely topped off by a dinner in Peters Brauhaus, in Cologne's old town*

Der nächste Tag führte uns in die Bonner Innenstadt. Dort besichtigten wir das frühere Regierungsviertel. Die Führung begann im alten zoologischen Museum Alexander König in Bonn, in Ermangelung eines anderen Gebäudes 1948 die Verfassung der Bundesrepublik Deutschland erarbeitet wurde. Sie führte dann von der Villa Hammerschmidt, dem früheren Amtssitz des Bundespräsidenten, zum Plenarsaal Altes Wasserwerk, zum Bonner Bundeskanzleramt und zum Bonner Bundestag. Es folgte ein Spaziergang durch die Bonner Innenstadt. Die Lehrstuhl-exkursion Köln/Bonn endete mit einem gemeinsamen Essen im indischen Restaurant *Taj India*.

*The second day took us to Bonn. In Bonn, we visited the district where government ministries were located before the federal government moved to Berlin. The guided tour began in the old Alexander König Zoological Museum, where the constitution of the Federal Republic of Germany was written in 1948. We then visited Villa Hammerschmidt, the former official residence of the German President, the former Federal Chancellery and the old Bundestag. This was followed by a walk through downtown Bonn. The Chair's excursion to Cologne and Bonn was brought to an enjoyable conclusion with a meal in the Indian restaurant *Taj India*.*



**Bild 4.47:** Auf der Freitreppe des alten Bonner Rathauses, November 2016.

*Fig. 4.47:* On the stairs of the old city hall of Bonn, November 2016.

**2017:**

**Easo George:** Im Januar 2017 veranstaltete der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft ein Abschiedskolloquium für Easo George, der mit einem attraktiven Angebot wieder an die University of Tennessee und an das Oak Ridge National Laboratory zurückgeholt wurde. Das Thema des Symposiums war „Recent Progress in High-Entropy and Compositionally Complex Alloys“ und fand am 12. und 13. Januar 2017 im Zentrum für IT-Sicherheit im Technologie-Quartier nahe der RUB statt. Gute Bekannte aus aller Welt nahmen teil, u. a. Michael Mills von der Ohio State University, Rob Ritchie von der University of California Berkeley, William Curtin vom Swiss Federal Institute for Technology Lausanne und Haruyuki Inui von der University of Kyoto. Auch aus Deutschland nahmen führende High-Entropy Alloy-Forscher teil. Easo George selbst hielt einen ausgezeichneten Einführungsvortrag. Wir bedauern, dass er uns wieder verlassen hat, werden aber mit ihm weiter in engem wissenschaftlichen Kontakt bleiben.

**2017:**

**Easo George:** In January 2017, the Chair for Materials Science organized a farewell colloquium for Easo George, who has returned to the University of Tennessee and the Oak Ridge National Laboratory. The topic of the symposium was "Recent Progress in High-Entropy and Compositionally Complex Alloys" and took place in the Center for IT Security in the Technology Quarter near the RUB on January 12-13, 2017. Scientists from all over the world participated in the symposium, including Michael Mills from The Ohio State University, Rob Ritchie from the University of California Berkeley, William Curtin from the Swiss Federal Institute for Technology, Lausanne, and Haruyuki Inui from the University of Kyoto. Leading German researchers from the field of high-entropy alloys attended as well. Easo George himself gave an outstanding introductory and overview lecture. We regret that he has left us but will remain in contact with him and wish him all the best for the future.



**Bild 4.48:** Easo George (Vorsitzender) und Bill Curtin (Sprecher) am High-Entropy Symposium in Bochum, January 2017. **Fig. 4.48:** Easo George (chairman) and Bill Curtin (speaker) at the High-Entropy Symposium in Bochum, January 2017.



**SFB/TR 103 Wechselwirkungswoche in Grainau:** Vom 6. bis 10. Februar 2017 fand die Wechselwirkungswoche des SFB/TR 103 im Konferenzhotel Badersee in Grainau, in den bayrischen Alpen, statt. Hier begannen bereits die Vorbereitungen für den Antrag und für die Begutachtung des Sonderforschungsbereichs für eine dritte Förderphase. Die Vorbereitungsarbeiten sollten unser Tagesgeschäft bis in den Sommer 2019 prägen. Das Gruppenbild zeigt die SFB/TR 103 WissenschaftlerInnen mit der Zugspitze im Hintergrund.

*SFB/TR 103 Interaction Week in Grainau:* On February 6 through February 10, the Interaction Week of the SFB/TR 103 was held in Grainau in the Bavarian Alps. Here we began preparing the proposal and the assessment for the third and last funding period. This kept us busy well into the summer of 2019, when the assessment took place. The group photo shows the SFB/TR 103 scientists with the Zugspitze, Germany's highest mountain, in the background, next to the conference hotel Badersee.



**Bild 4.49:** SFB/TR 103 Wechselwirkungswoche in Grainau.

*Fig. 4.49:* SFB/TR 103 Interaction Week in Grainau.

**Ferroic Cooling 2017:** Am 25. Februar 2017 fand bei uns ein Treffen von Forschern aus dem DFG Schwerpunktprogramm SPP1599 statt. Es kamen alle Wissenschaftler/innen, die sich mit dem Kühlen mit Hilfe von pseudoelastischen NiTi-basierten Formgedächtnislegierungen befassen. Außerdem nahmen Martin Wagner (Universität Chemnitz) und Lluís Manosa (University of Barcelona) als externe Gäste am Treffen teil. Im SPP1599 arbeiten wir mit Kollegen von der Uni Saarbrücken (Stefan Seelecke und Andreas Schütze) zusammen, mit dem Ziel, einen Formgedächtniskühlschrank zu verwirklichen. Gruppen aus Kiel (Eckhard Quandt) und Karlsruhe (Manfred Kohl) untersuchen diesen Effekt für Anwendungen im Mikrobereich. An der RUB bearbeitete André Wiczorek das DFG-Projekt zum Ferroic Cooling, Ziel seiner Arbeit war, optimale Legierungen für das Kühlen zu identifizieren.

**Ferroic Cooling 2017:** On February 25, we organized a meeting with researchers from the DFG Priority Program SPP1599 Ferroic Cooling. All scientists who work on ferroelastic cooling with the aid of pseudoelastic NiTi-based shape-memory alloys attended. Martin Wagner (Chemnitz University) and Lluís Manosa (University of Barcelona) also participated in the meeting. We worked together in cooling with colleagues from the University of Saarbrücken (Stefan Seelecke and Andreas Schütze) with the objective to realize a shape memory fridge. Groups from Kiel (Eckhard Quandt) and Karlsruhe (Manfred Kohl) study this effect for applications on the micrometer scale. At RUB, André Wiczorek did his Dr.-Ing. thesis on this subject, which aimed at finding the best alloy compositions for cooling applications.



**Bild 4.50:** Lluís Manosa von der University of Barcelona beim Ferroic Cooling Symposium, Februar 2017. **Fig. 4.50:** Lluís Manosa from the University of Barcelona at the Ferroic Cooling symposium, February 2017.



**Dietmar Rose und Guillaume Laplanche Frühstück:** Am 22. März 2017 gaben Dietmar Rose und Guillaume Laplanche ein Frühstück aus. Anlässe waren das 25jährige Dienstjubiläum von Dietmar Rose und die Ernennung von Guillaume zum Juniorprofessor. Dietmar Rose ist ein Werkstoffprüfer, der am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft die Kompetenz der mechanischen Werkstoffprüfung einbringt. Insbesondere bei Prüfverfahren, die keine Standardverfahren darstellen, wie zum Beispiel die Anwendung der Miniatur-CT Probe für die Prüfung von FGL aus der Doktorarbeit von Susanne Gollerthan, leistet er wertvolle Hilfe. Guillaume Laplanche hat im Wintersemester 2016/2017 erstmals die große Einführungsverlesung vor 500 Studierenden gehalten. Seine Lehrtätigkeit ist von den Studierenden gut bewertet worden, was bei den Großveranstaltungen in den frühen Semestern des Maschinenbaus nicht einfach ist.

*Breakfast with Dietmar Rose and Guillaume Laplanche: On March 22, 2017, Dietmar Rose and Guillaume Laplanche invited the Chair members to a breakfast. The reasons were Dietmar Rose's 25th anniversary and Guillaume's appointment as a Junior Professor. Dietmar Rose is a materials tester and an expert in mechanical material testing at the Chair for Materials Science. Particularly in the case of test methods that are not standard methods, such as the miniature CT sample testing of shape memory alloys in Susanne Gollerthan's doctoral thesis, he provides valuable assistance. Guillaume Laplanche gave the introductory materials lecture in front of 500 students for the first time in the winter semester of 2016-2017. His teaching has been positively assessed by the students – quite a remarkable accomplishment, particularly in the case of the major classes in the first semesters of mechanical engineering.*



**Bild 4.51:** Lehrstuhlfrühstück am 22. März 2017 – Dietmar Rose (25jähriges Dienstjubiläum) und Guillaume Laplanche (Juniorprofessur). **Fig. 4.51:** A breakfast provided by Dietmar Rose (25 years of service at RUB) and Guillaume Laplanche (Junior Professorship).



**Creep 2017:** Vom 19. bis zum 22. Juni fand die internationale Kriechkonferenz in St. Petersburg, Russland, statt. Sie wurde gemeinsam von Peter Pantilov (Ekaterinburg, Russland) und Georgii Kodzhaspirov (St Petersburg) organisiert. Unser Lehrstuhl war mit mehreren Beiträgen vertreten (O. Horst, L. Cao, L. Heep, G. Eggeler). Mikrostrukturelle Aspekte des Kriechens stellen einen Forschungsschwerpunkt an unserem Lehrstuhl dar. Deshalb nehmen wir regelmäßig an den internationalen Kriechkonferenzen teil, die von Brian Wilshire aus Swansea ins Leben gerufen worden und jetzt von der Kriech-Community weitergeführt werden. Gemeinsam mit Uwe Glatzel und Mike Mills (Foto) war ich von Anfang an mit dabei.

**Creep 2017:** *The International Creep Conference took place on June 19-22 in St. Petersburg, Russia. It was jointly organized by Peter Pantilov (Yekaterinburg, Russia) and Georgii Kodzhaspirov (St. Petersburg, Russia). Our group presented a number of papers (O. Horst, L. Cao, L. Heep, G. Eggeler). The role of microstructure in determining high-temperature strength is one of the central research topics in our group. This is why we participate regularly in the Creep Conferences, created by Brian Wilshire from Swansea. Today, they are organized by an international committee. Uwe Glatzel, Mike Mills and I are committee members.*



**Bild 4.52:** Auf der Kriechkonferenz 2017 in St. Petersburg. Links: Larissa Heep, Lijie Cao, David Bürger und Oliver Horst. **Fig. 4.52:** *Creep Conference 2017 in St. Petersburg, Russia. Left: Larissa Heep, Lijie Cao, David Bürger and Oliver Horst.*



**Bild 4.53:** DFG-Forschergruppe Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen bei einem Projekttreffen in Bochum, Ende Mai 2017. **Fig. 4.53:** DFG Research Group on High-Temperature Shape Memory Alloys, meeting in late May 2017.

**DFG-Forschergruppe High Temperature Shape Memory Alloys:** Im Berichtszeitraum waren wir Mitglied einer von der DFG geförderten Forschergruppe zu Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen. Prof. H. J. Maier, einer unserer langjährigen Kooperationspartner, koordiniert diese Forschergruppe, zu der auch Prof. Ralf Drautz (ICAMS, RUB), Prof. Thomas Niendorf (Uni Kassel) und Prof. Wolfgang Schmahl (LMU München) gehörten. Die Forschergruppe traf sich zweimal im Jahr, Ende Mai 2017 bei uns in Bochum. Ein Schwerpunkt der Arbeiten war das System TiTa, an welchem Ramona Rynko (vorne Mitte) und Alexander Paulsen (hinten Mitte) forschten.

**Kanutour Lehrstuhl WW:** Ende Juni 2017 organisierten die Doktoranden und die studentischen Hilfskräfte des Lehrstuhls eine Kanu-Tour auf der Ruhr. Die Bilder zeigen, dass gute Laune herrschte.

**DFG Research Group on High-Temperature Shape Memory Alloys:** In the reporting period, we participated in a DFG-funded research group on high-temperature shape memory alloys that was coordinated by Prof. Hans Jürgen Maier, one of our long-term research partners. Prof. Ralf Drautz (ICAMS, RUB), Prof. Thomas Niendorf (University of Kassel) and Prof. Wolfgang Schmahl (LMU Munich) are also part of this group. The group met two times a year; one meeting was held end of May 2017 in Bochum. One part of the project focused on the TiTa system, which Ramona Rynko (front middle) and Alexander Paulsen (back middle) worked on in their Dr.-Ing. theses.

**Canoe tour of MSE:** End of June 2017, the doctoral students and student assistants organized a canoe tour on the Ruhr. The photographs show that everybody is in a good mood.



**Bild 4.54:** Kanu-Ausflug auf der Ruhr im Sommer 2017.  
**Fig. 4.54:** Canoe tour on the Ruhr river in the summer of 2017.



**Bild 4.55:** Besichtigung des Rohbaus des ZGH im Juli 2017. **Fig. 4.55:** Viewing the building shell of the new research Center for Interface-Dominated High Performance Materials (ZGH).



**Besichtigung des ZGH:** Im Juli 2017 war der Rohbau des neuen Zentrums für Grenzflächendominierte Höchstleistungswerkstoffe soweit fortgeschritten, dass man sich dort einen ersten Eindruck vom Baufortschritt verschaffen konnte. Eine Gruppe von Mitgliedern des Instituts für Werkstoffe, darunter Alfred Ludwig und ich, informierten sich vor Ort. Die Fertigstellung des Gebäudes wurde für 2019 in Aussicht gestellt.

*Viewing the ZGH building shell: In July 2017, the preliminary building work of the new research center ZGH had progressed to a point at which the building shell could be visited. A group from the Institute for Materials, including Alfred Ludwig and myself, and from ICAMS took a first look at the building. In 2017, the completion of the ZGH building was promised for 2019.*

**RUB Gesundheitstag:** An die Stelle des Institutsausflugs ist im Jahre 2017 der von der RUB eingeführte Gesundheitstag getreten, an dem das Institut für Werkstoffe gemeinsam mit dem Institut für Thermo- und Fluidodynamik ein Fußballturnier veranstaltet. Das Turnier fand am 6. Juli auf dem RUB-Sportgelände statt. Unser Lehrstuhl war mit einer eigenen Mannschaft vertreten. Damit knüpfen wir an die alte Tradition der Fußballspiele zwischen dem Institut für Werkstoffe und dem Institut für Thermo- und Fluidodynamik an. Allerdings sind beide Institute so gewachsen, dass heute mehrere Teams aus beiden Instituten antreten.

*RUB Health Day: Instead of having an institute excursion, in 2017 we organized a football tournament as an integral part of the RUB Health Day. Our team competed with teams from the Institute for Thermo and Fluid Mechanics from our Faculty of Mechanical Engineering. The tournament took place on July 6. With this, we continued an old tradition of our Institute playing against the Institute of Thermo and Fluid Dynamics. However, both institutes have grown in size such that nowadays several teams from both institutes participate in the football tournament.*



**Bild 4.56:** WW-Fußballmannschaft im Sommer 2017.

*Fig. 4.56:* MSE football team in the summer of 2017.

**ICOMAT 2017:** Die ICOMAT ist die internationale Konferenz zu martensitischen Umwandlungen. Sie wurde vom 10. bis zum 14. Juli von Aaron Stebner (Colorado School of Mines) und Greg Olson (Northwestern University) organisiert und fand in Chicago statt. Die Formgedächtnisforscher von unserem Lehrstuhl nehmen an allen ICOMAT-Tagungen teil, ich selbst bin Mitglied des internationalen wissenschaftlichen Komitees der ICOMAT. Die ICOMAT bringt Forscher aus unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen zusammen, die an grundlegenden Fragen zur martensitischen Umwandlung arbeiten. Wir Bochumer lieferten Beiträge zu atomistischen und mikrostrukturellen Ursachen für Hystereseeffekte, zum Einfluss des Ni-Gehalts auf die Martensit-Start-Temperatur und zu Hochtemperatur-Formgedächtnistechnik. Es gab eine sehr interessante Stadtführung, auf einem Boot durch das Wassernetz von Chicago. Und auch das Konferenzdinner fand auf einem Boot auf dem Michigansee statt, von wo aus man einen guten Blick auf Downtown Chicago hatte.

**ICOMAT 2017:** *ICOMAT is the international conference on martensitic transformations. It was organized in Chicago on July 10-14 by Aaron Stebner (Colorado School of Mines) and Greg Olson (Northwestern University). All shape memory researchers from our group participated in the conference. I am one of the members of the international scientific committee of ICOMAT. ICOMAT attracts researchers from different fields with interest in the elementary mechanisms of martensitic transformation. From Bochum, there were contributions on atomistic and microstructural parameters that affect hysteresis; on the influence of Ni-concentration on martensite start temperatures; and on high-temperature shape memory alloys. There was a very interesting boat tour on the Chicago River, which runs through the city. The conference dinner was organized on a boat on Lake Michigan, from where we all had a good view of downtown Chicago.*



**Bild 4.57:** Bochumer Teilnehmer der ICOMAT 2017.  
**Fig. 4.57:** Participants from Bochum at the ICOMAT 2017.



**Solidification Processing SP17:** Ende Juli nahmen Jan Frenzel und seine Gruppe an der Solidification Processing Conference SP17 teil, in Old Windsor, UK. Sie stellten dort unsere Impfkristall-Bridgman-Technik vor und berichteten über Ergebnisse zum Wachstum von Dendriten beim Erstarren einkristalliner Ni-Basis-Superlegierungen. Felicitas Scholz stellte Ergebnisse zur Verformung von Dendriten vor.

***Solidification Processing SP17:** At the end of July, Jan Frenzel and his group participated in the Solidification Conference SP17, in Old Windsor, UK. They presented results on the growth of dendrites during the directional solidification of Ni-base single crystal super alloys. Felicitas Scholz showed her results on the deformation of dendrites, combining advanced materials processing with quantitative 3D-metallography.*

**Wechselwirkungswoche des SFB/TR 103 in Bochum:** Die zweite Wechselwirkungswoche des Jahres 2017 fand Anfang September in Bochum statt. Alle Projekte berichteten über ihre Ergebnisse und legten insbesondere dar, wie sie sich für die dritte Förderphase des SFB/TR 103 aufstellen wollten. Im Anschluss an die Vorstellungen der Projekte folgten intensive Diskussionen in den wissenschaftlichen Querschnittsgruppen.

***Interaction Week of SFB/TR 103 in Bochum:** The second Interaction Week in 2017 was organized in Bochum. All projects reported on their results and outlined their objectives for their project proposal for the third funding phase of the Collaborative Research Center. After all projects had presented their work and future plans, the scientists held discussions within cross-sectional groups.*



**Bild 4.58:** Mitglieder der SFB/TR 103-Querschnittsgruppe Charakterisierung und Nanomechanik diskutieren auf dem September-Treffen in Bochum. Wir gratulieren Dr. Baptiste Gault (Mitte oben), vom Atomsondenprojekt A4, zum Leibniz-Preis 2019. **Fig. 4.58:** *Members of the cross-sectional SFB/TR 103 group on characterization and nanomechanics holding discussions at the September meeting in Bochum. We congratulate Dr. Baptiste Gault (upper middle) from the atom probe project A4, who received the Leibniz research award in 2019.*



**Symposium über Advanced Mechanical Characterization Methods:** Am 13. und 14. September veranstalteten wir ein Symposium zu neuen mechanischen Testverfahren. Die Themen umfassten neue Hochtemperaturversuchstechniken und mikromechanische Untersuchungsmethoden. Dabei waren Untersuchungen von Interesse, wo mechanisch verformte Proben mit verschiedenen Methoden charakterisiert wurden. Von der RWTH Aachen nahm Frau Prof. Sandra Korte-Kerzel mit Mitgliedern ihrer Gruppe am Treffen teil. Frau Korte-Kerzel berichtete über die Anwendung mikromechanischer Testmethoden bei der Prüfung intermetallischer Phasen.

*Symposium on Advanced Mechanical Characterization Methods:* On September 13-14, we organized a symposium on new mechanical test methods that involved new high-temperature tests and advanced micromechanical test methods. In the focus of interest were research projects that combine novel mechanical testing with advanced microstructural analysis. From RWTH Aachen, Prof. Sandra Korte-Kerzel participated in the meeting. She gave a presentation on the mechanical properties of hard inter-metallic phases, which she investigates with micromechanical in-situ SEM methods.



**Bild 4.59:** Symposium Advanced Characterization Methods, September 2017.  
*Fig. 4.59:* Symposium on Advanced Characterization Methods, September 2017.

**Als JIMIS Fellow in Sendai und Kyoto:** Auf Einladung von Prof. Kyosuke Yoshimi und von Prof. Haruyuki Inui verbrachte Gunther Eggeler zwei Monate, Oktober und November, als JIMIS Fellow in Japan. Mit Prof. Yoshimi, in Sendai, arbeitete er über das Kriechen von Ni-Basis-Superlegierungen und von MoSiB-Systemen. In Kyoto, mit Prof. Inui, forschte er an In-situ SEM Mikroscherversuchen an Ni-Basis Superlegierungseinkristallen. Auch besuchte er für einige Tage Prof. Masao Takeyama's Gruppe am Tokyo Institute for Technology.

*As a JIMIS Fellow in Sendai and Kyoto:* Following an invitation by Prof. Kyosuke Yoshimi (Tohoku University, Sendai) and Prof. Haruyuki Inui (University of Kyoto), Gunther Eggeler spent two months of his sabbatical as a JIMIS Fellow in Japan. With Prof. Yoshimi, he worked on the creep of Ni-base superalloy single crystals and of MoSiB systems. In Kyoto, with Prof. Inui, he explored in-situ SEM micro shear testing of Ni-base single crystal superalloys, with a focus on TEM results. He also visited Prof. Masao Takeyama's group at the Tokyo Institute of Technology.



**Bild 4.60:** Nach einem Seminarvortrag an der Tohoku University, Sendai. Gunther Eggeler (Mitte) zwischen den Profs. R. Kainuma (Theoretical Materials Science and Shape Memory Alloys) und Prof. Kyosuke Yoshimi (High Temperature Materials). In der hinteren Reihe rechts steht Prof. K. Ishida (Phase Equilibria and Microstructures).

**Fig. 4.60:** After a seminar presentation at the Tohoku University, Sendai. Gunther Eggeler standing between Prof. R. Kainuma (a colleague from the ICOMAT committee) and K. Yoshimi (high-temperature materials). In the back: Prof. K. Ishida (Phase Equilibria and Microstructures).

**2018:**

**Universität der Balearischen Inseln:** In den ersten Wochen des Jahres 2018 verbrachte Gunther Eggeler den zweiten Teil seines Forschungssemesters an der Universität der Balearischen Inseln in Mallorca. Es bestehen gute Kontakte zu den dortigen Formgedächtnisforschern, die der Fakultät für Physik angeschlossen sind. Insbesondere gibt es eine gute Zusammenarbeit mit Jaime Pons zu Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen und mit Sergey Kustov zu den Elementarprozessen der martensitischen Umwandlung. In dieser Zeit nahm Gunther Eggeler auch an einigen Treffen in Frankreich, in Paris (Prof. G. Cailletaud), Metz (Profs. A. Jaques und T. Schenk) und Toulouse (Prof. B. Viguier) teil, in denen es um ein-kristalline Superlegierungen ging.

**Industriekolloquium des SFB/TR 103:** Im Rahmen der Outreach-Aktivitäten des SFB/TR 103 organisierten Profs. C. Körner (FAU Erlangen-Nürnberg) und G. Eggeler am 6. und 7. März ein gut besuchtes Industriekolloquium, das in den Gebäuden des Instituts Neue Materialien Fürth (NMF) abgehalten wurde und wo sich Superlegierungsforscher aus Hochschule und Industrie austauschen konnten. Unser Lehrstuhl war bei diesem Treffen zahlreich vertreten. Das Industriekolloquium des SFB/TR 103 stand am Anfang einer Periode, in der wir bereits alle unsere Kräfte auf die Begutachtung des SFB/TR 103 für die dritte und letzte Förderphase konzentrierten. Bei allen anderen Aktivitäten traten wir in den Jahren 2018 und 2019 etwas kürzer.

**Wechselwirkungswochen des SFB/TR 103:** Im Mai 2018 fand wieder eine Wechselwirkungswoche des SFB/TR 103 statt, an der auch die Mitglieder des internationalen Technical Academic Advisory Boards (TAAB) teilnehmen. Hier wurden die Forschungskonzepte für den Antrag für die letzte Förderphase vorgestellt und besprochen. Alle Einzel-

**2018:**

***University of the Balearic Islands:** In the first weeks of 2018, Gunther Eggeler spent the second part of his research semester at the University of the Balearic Islands in Mallorca. Our group has good contacts with the shape memory researchers in Palma, who are associated with the faculty of Physics. Collaboration includes projects in the areas of high-temperature shape memory alloys (with Jaime Pons) and of elementary processes governing martensitic transformation (with Sergey Kustov). During this period, Gunther Eggeler also visited France, where he spent time in Paris (Prof. G. Cailletaud), Metz (Profs. A. Jaques and T. Schenk) and Toulouse (Prof. B. Viguier), discussing research on Ni-base single crystal superalloys.*

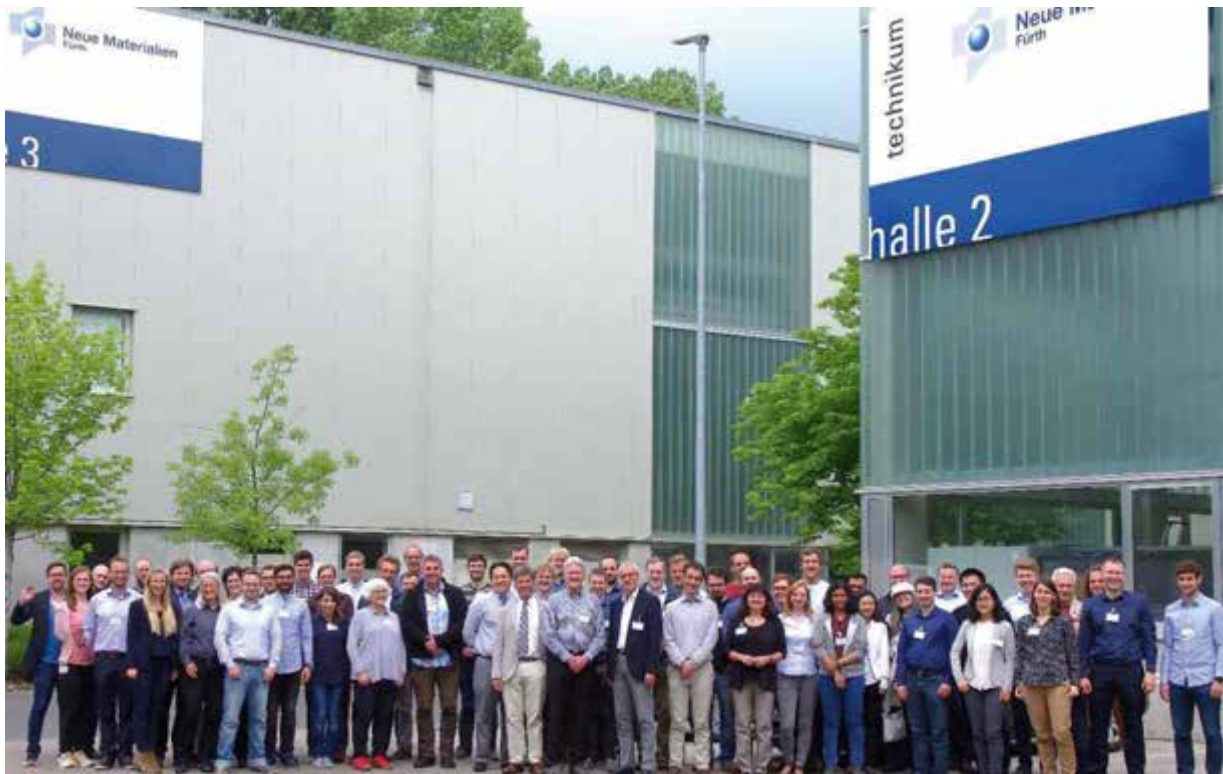
***Industrial symposium of SFB/TR 103:** As an outreach activity of the collaborative research center, Prof. C. Körner (FAU Erlangen Nürnberg) and G. Eggeler organized a well-attended industrial symposium, which was organized in the Institute for New Materials in Fürth (NMF). Here superalloy researchers from industry and universities could interact and exchange ideas. All scientists from our group involved in superalloy research participated in the meeting. The symposium marked the beginning of a period, in which we had to focus on preparing the proposal for the assessment of our SFB/TR 103 in the summer of 2019. Forces needed to be bundled, and other research fields received less attention during this period.*

***Interaction Week of SFB/TR 103:** In May 2018, the SFB/TR 103 scientists met again at NMF Fürth for their Interaction Week. The members of the Technical Academic Advisory Board (TAAB), led by chairman Prof. Mike Mills from The Ohio State University, participated in the meeting. The general concept for the proposal for the third and last four-year funding phase*



projekte des SFB/TR 103 stellten ihre geplanten Forschungsarbeiten vor. Der TAAB des SFB/TR 103 wird von Prof. Mike Mills von der The Ohio State University geleitet. Ihm gehören auch Prof. Tresa Pollock (UC Santa Barbara), Prof. Cathie Rae (University Cambridge), Prof. Sammy Tin (University Chicago) und Werkstoffexperten aus der deutschen Industrie an. Der TAAB gab wertvolle Hinweise zu den generellen Projektzielen und zu den geplanten Einzelprojekten.

*was presented and discussed. All individual projects explained their research work for the last funding phase of SFB/TR 103 and were open to suggestions. The members of TAAB provided valuable input and feedback. Members of TAAB included Profs. Tresa Pollock (UC Santa Barbara), Cathie Rae (Cambridge) and Sammy Tin (University of Chicago) as well as material experts from German industry.*



**Bild 4.61:** Wechselwirkungswoche des SFB/TR 103 im Mai 2018 in Fürth.

**Fig. 4.61:** *Interaction Week of SFB/TR 103 in May 2018 in Fürth.*

In der zweiten Wechselwirkungswoche des SFB/TR 103 im Herbst 2018 in Bochum ging es dann schon um Einzelheiten. Ausgereifte Projektvorschläge wurden präsentiert, und die Struktur von Querschnittsgruppen und die Einrichtung von Transferprojekten (mit Industriepartnern) wurde konkretisiert. Es wurde auch der Umgang mit Forschungsdaten ausführlich diskutiert. Im Oktober 2018 organisierten auch die Young Material Researchers des SFB/TR 103 ihr unabhängiges Treffen in Lohr am Main.

*In the second Interaction Week of the SFB/TR 103, held in autumn 2018, details of the new proposal were discussed. Advanced project plans were presented, and the structure of interdisciplinary cross-sectional groups was designed. Transfer projects with partners from industry were planned. Emphasis was also placed on the handling of scientific data. The Young Material Researchers of SFB/TR 103 organized their own independent meeting in October in Lohr am Main.*



**Bild 4.62:** Young Researchers Meeting des SFB/TR 103 im Oktober 2018 in Lohr am Main, vor dem Hotel Franziskushöhe. **Fig. 4.62:** *Young researchers of the SFB/TR 103 in front of their hotel Franziskushöhe during their independent meeting in Lohr am Main in October 2018.*



**Bild 4.63:** Teilnehmer der Konferenz zu Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen (Kloster Irsee, Mai 2018). **Fig. 4.63:** *Participants of the international symposium on High-Temperature Shape Memory Alloys, held in Kloster Irsee, Germany in May 2018.*



**High Temperature Shape Memory Alloys:** Vom 15. bis zum 18. Mai fand eine Tagung zu High Temperature Shape Memory Alloys im Tagungszentrum Kloster Irsee statt. Die von Jan Frenzel geleitete Shape Memory-Gruppe unseres Lehrstuhls war dort vollständig vertreten. H.J. Maier, der Koordinator unserer Forschergruppe zu diesem Thema, war Organisator der Tagung.

*High Temperature Shape Memory Alloys:* On May 15-18, H.J. Maier, the coordinator of our Research Group on High-Temperature SMAs, organized an international symposium at the conference center of Kloster Irsee. Our SMA group headed by Jan Frenzel participated in this meeting. Our focus in this area was on TiTa high-temperature shape memory alloys.

**ICSMA 18 – Columbus/USA:** Die 18. internationale Konferenz zur Festigkeit von Werkstoffen wurde vom 15. bis 19. Juli von Prof. Mike Mills an der The Ohio State University in Columbus/USA organisiert. Wir hatten in diesem Aktivitätsbericht bereits über ICSMA 16 (Bangalore, Indien) und 17 (Brno, Tschechische Republik) berichtet. Die ICSMA 18 war sehr gut besucht, und wir waren mit einer großen Abordnung vertreten, die Themen aus verschiedenen Feldern vorstellte.

*ICSMA 18 – Columbus, Ohio, United States:* The 18th International Conference on Strength of Materials was held on July 15-19, organized by Prof. Mike Mills from The Ohio State University in Columbus. In this report, we already covered our participations in the ICSMA 16 (Bangalore, India) and the ICSMA 17 (Brno, Czech Republic). ICSMA 18 was very well attended, and several of our scientists and graduate students took part and presented various topics.

1



**Bild 4.64:** Mit befreundeten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf der ICSMA 18 in Columbus, Juli 2018. **Fig. 4.64:** With scientific friends at the ICSMA 18 in Columbus, July 2018.



Auf der ICSMA 18 berichteten wir über unsere Ergebnisse zu Hochentropielegierungen, über verschiedene Ergebnisse zu einkristallinen Superlegierungen und über neue mikrostrukturelle Ergebnisse zum Warmverschleiß. Mike Schneider wurde auf der ICSMA 18 mit einem Best Poster Award ausgezeichnet.

*At the ICSMA 18, we presented results on microstructure and mechanical properties of high-entropy alloys, on different aspects of processing and high-temperature strength of single crystal superalloys and on new microstructural results on high-temperature wear. Mike Schneider received a Best Poster Award.*



**Bild 4.65:** Konferenzdinner bei der ICSMA 18, Columbus/USA, 2018.  
**Fig. 4.65:** Conference dinner at ICSMA 18, Columbus, Ohio, U.S., 2018.

**50 Jahre Institut für Werkstoffe:** Ein bemerkenswertes Ereignis des Jahres 2018 war die Feier des 50-jährigen Bestehens des Instituts für Werkstoffe. Aus diesem Anlass veranstalteten wir am 13. und 14. September ein zweitägiges Symposium. Alle Institutsmitglieder und viele Ehemalige nahmen teil. Unter den Gästen war auch unser Ehrendoktor Prof. Hael Mughrabi (Uni Erlangen). Das Symposium begann mit der Verlesung von Grußworten vom Institutsgründer Prof. Erhard Hornbogen, der nicht persönlich teilnehmen konnte. Dekan Prof. Roland Span, Prorektor Andreas Ostendorf und Anke Pyzalla, damals noch Rektorin der TU

**50 Years Institute for Materials:** In 2018, our Institute for Materials celebrated its 50th anniversary on the premises of Stadtparkgastronomie Bochum. A two-day symposium was held on September 13-14. All members of our Institute and many alumni took part in the meeting. We also welcomed our honorary doctor Prof. Hael Mughrabi (Uni Erlangen) to the meeting. The symposium started with a welcoming address from Prof. Hornbogen, the founder of our institute, who could not personally participate in the meeting. Then Dean Prof. Roland Span, Prorektor for Research Andreas Ostendorf and Prof. Anke Pyzalla (at the time President of TU

Braunschweig, sprachen weitere Grußworte. Alle Professorinnen und Professoren des Instituts für Werkstoffe stellten ihre Bereiche vor. Drei Nachwuchswissenschaftlerinnen (Felicitas Scholz, Corinna Harges und Nadine Ziegler) gaben Einblick in ihre Forschungsarbeiten.

*Braunschweig) welcomed the attendees. All Professors of the Institute for Materials presented their research activities. Three junior scientists (Felicitas Scholz, Corinna Harges and Nadine Ziegler) reported on progress in their research projects.*



**Bild 4.66:** Eröffnung von 50 Jahre IFW im großen Veranstaltungssaal der Stadtparkgastronomie Bochum. **Fig. 4.66:** Opening of 50 Years of Institute for Materials in the lecture hall of Stadtparkgastronomie Bochum.

Unter den Gästen von anderen Universitäten begrüßten wir u.a. Prof. Herbert Gleiter (KIT), Prof. Eckhard Quandt (Uni Kiel), Prof. Martin Wagner (TU Chemnitz), Prof'in Birgit Skrotzki (BAM Berlin) und Prof. Sebastian Weber (Uni Wuppertal). Auch aus der Werkstoff-Industrie gab es Vorträge von Ehemaligen wie Dr. Christoph Escher (Dörrenberg), Dr. Till Schneiders (Deutsche Edelstahlwerke) und Dr. Christian Großmann (Ingpuls).

*Among the guests of the symposium from other universities and institutions were Prof. Herbert Gleiter (KIT), Prof. Eckhard Quandt (Uni Kiel), Prof. Martin Wagner (TU Chemnitz), Prof. Birgit Skrotzki (BAM, Berlin) and Prof. Sebastian Weber (at the time Uni Wuppertal). There were also guests from industry, including Dr. Christoph Escher (Dörrenberg), Dr. Till Schneiders (Deutsche Edelstahlwerke) and Dr. Christian Großmann (Ingpuls).*





**Bild 4.67:** Felicitas Scholz berichtet über ihre Ergebnisse zur Herstellung einkristalliner Superlegierungen. **Fig. 4.67:** Felicitas Scholz presents her results on the evolution of microstructure during the solidification of single crystal superalloys.



**Bild 4.68:** Alexander Paulsen (links) und David Piorunek (rechts) stellen Ehemaligen einen Prüfstand für die funktionelle Prüfung von Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen vor. **Fig. 4.68:** Alexander Paulsen (left) and David Piorunek (right) present a test rig for high-temperature shape memory alloys during the lab visits of IFW 50.



Im Anschluss an die Vorträge des ersten Tages gab es die Gelegenheit, die experimentelle Infrastruktur des Instituts für Werkstoffe an der RUB zu besichtigen. Anlässlich der Abendveranstaltung von IFW 50 fand der vorerst letzte Auftritt der IFW-Band statt. Am zweiten Tag endete die gut besuchte Veranstaltung mit einer kürzeren Session nach der Mittagspause.

*The first day ended with a visit to the laboratories of our institute at the Ruhr University. Afterwards, we enjoyed a dinner, where the band of the Institute for Materials performed one last time, before going on a longer-term break. The successful meeting ended with a short session after lunch on the second day of the symposium.*



**Bild 4.69:** Vorerst letzter Auftritt der IFW-Band bei der Abendveranstaltung von IFW 50, September 2018. **Fig. 4.69:** Last performance of IFW Band during the symposium dinner of IFW 50, September 2018.

**Ersatz für das CM20 TEM:** Im Jahr 2018 erreichte unser altes LaB<sub>6</sub>-TEM CM20 ein stolzes Alter von 25 Jahren. Die Firma FEI (die aus der Philips TEM-Abteilung hervorgegangen war und die heute als Thermo Fisher weiter aktiv ist) hatte uns bereits vorab mitgeteilt, dass es mit der Wartung schwierig werden würde, weil einige Ersatzteile nicht mehr hergestellt würden. Am CM20 erfolgten unsere TEM-Schulungen, und es wurde vielfach im Tagesgeschäft genutzt, auch für die Vorcharakterisierung von Proben für den SFB/TR 103. Dies wurde mit der Kanz-

*Replacement of the old CM20 TEM: In 2018, our old LaB<sub>6</sub>-TEM CM20 reached the age of 25. The company FEI (which evolved from the TEM department of Philips and now is continuing operations as Thermo Fisher) informed us that technical support was becoming increasingly difficult due to the lack of spare parts, some of which were no longer produced. The CM20 was important, because all our training was performed with this machine and it was heavily used in the daily business, especially in the superalloy center SFB/TR 103 for pre-characterization. The Chancellor of the*

lerin der RUB besprochen, und wir erhielten die Möglichkeit, einen Großgeräteantrag zu stellen, der noch im Jahr 2018 positiv bewertet wurde. Als Ersatz für das CM20 entschieden wir uns für ein JEOL 2100 Plus (LaB<sub>6</sub>-Kathode, BF- und DF-Detektoren mit einem EDX-Detektor X-Max80 von Oxford).

**Neue CNC-Drehmaschine für die Werkstatt:** Auch im Vorgriff auf den dritten Finanzierungsantrag des SFB/TR 103 wurde eine neue Drehmaschine beschafft, die insbesondere für die Fertigung präziser mechanischer Proben mit Rundkerben gebraucht wurde. Diese Anschaffung wurde von der Fakultät für Maschinenbau unterstützt.

**Besuch am Zentrum für Hochauflösende Elektronenmikroskopie an der Nelson-Mandela-Universität in Südafrika:** Gunther Eggeler besuchte im Oktober 2018 das Elektronenmikroskopiezentrum der Nelson Mandela Universität in Port Elizabeth, Südafrika. Dorthin bestand Kontakt über Prof. J.H. Neethling und Dr. J.E. Westraadt. Die Kollegen aus Südafrika hatten Interesse an unseren früheren Arbeiten an angelassenen martensitischen Chromstählen. Uns bot der zweiwöchige Besuch die Gelegenheit, uns mit dem hochauflösenden Mikroskop von Jeol (ARM) vertraut zu machen. Gunther Eggeler hatte diesen Gerätetyp bereits bei Prof. Haruyuki Inui und Prof. Kyosuke Kishida (University of Kyoto, Japan) gründlich in Augenschein genommen. Er tauschte sich jetzt noch einmal mit den südafrikanischen Kollegen zu diesem Gerät aus. Im April 2018 machten Aleksander Kostka (ZGH) und Hongcai Wang (WW) noch einen Anschlussbesuch, um das Jeol-Gerät genau in Augenschein zu nehmen.

Dies war wichtig, weil wir uns in Bochum für ein hochauflösendes Jeol-Gerät der nächsten Generation (NEOARM) ent-

*RUB gave us the opportunity of writing a proposal for renewing this instrument. We submitted the proposal in 2018 and had a positive reply. As a replacement, we opted for a LaB<sub>6</sub> TEM of type Jeol 2100 Plus, with a BF and a DF detector and an EDX detector X-Max80 from Oxford.*

*A new numerically controlled turning lathe: In preparation for the next funding phase of SFB/TR 103, our department of Mechanical Engineering supported the purchase of a new turning lathe. This machine was required for the machining of high-precision test specimens, especially in the case of circular notched specimens, to explore the effort of stress multiaxiality.*

*Visit to the Center of High-Resolution Transmission Electron Microscopy at the Nelson Mandela University in South Africa: In October 2018, Gunther Eggeler visited the colleagues from the Electron Microscopy Center of the Nelson Mandela University in Port Elizabeth, South Africa, where we are in contact with Prof. J. H. Neethling and Dr. J. E. Westraadt. The colleagues from South Africa were interested in our previous research on microstructural evolution during creep of tempered martensite ferritic steels. We had the opportunity to familiarize ourselves with the high-resolution TEM they had operated for a few years, a Jeol ARM. Gunther Eggeler had already taken a close look at this instrument during his visit at the University of Kyoto in 2016, where he interacted with Profs. Inui and Kishida. He discussed the instrument again with the colleagues in South Africa. In April 2018, Aleksander Kostka (ZGH) and Hongcai Wang (from our group) payed a follow-up visit to Port Elizabeth, to get first-hand experience with this instrument.*

*This was important because we opted for this type of high-resolution TEM from Jeol for the ZGH at RUB. We will have the next*

schieden hatten, das  $c_s$ -korrigiert ist, mit zwei EDX und einem EELS Spektrometer ausgestattet ist, und als Zusatzoptionen über Tomographie- und erweiterte Orientierungsmessfunktionen verfügt. Außerdem sind alle Detektoren auch in der Lage, bei niedrigeren TEM-Spannungen gute Ergebnisse zu liefern.

*generation instrument (NEO ARM) that is  $c_s$ -corrected and has two EDX features and one EELS detector. Moreover, it has additions for tomography and for advanced orientation measurements. All detectors are designed to provide good results even under lower tension (for beam sensitive materials).*



**Bild 4.70:** Mit Dr. Johan Westraadt an der Nelson-Mandela-Universität, Oktober 2018.  
**Fig. 4.70:** With Dr. Johan Westraadt at the Nelson Mandela University, October 2018.

**Seminar Hochentropielegierungen / Weihnachtsfeier des Instituts für Werkstoffe:** Das Jahr 2018 endete mit einem von Guillaume Laplanche organisierten Seminar zu Hochtemperaturlegierungen, an dem alle RUB-HEA-Forscher teilnahmen und zu dem auch Prof. Easo George (ORNL, USA), Dr. Gernot Hausch (ein Experte auf diesem Gebiet, der in seiner aktiven Zeit bei der Vakuumschmelze in Hanau tätig war) und Prof. Antonin Dlouhy (IMP, Brno) angereist waren. Es wurde vom 18. bis zum 22. Dezember im Seminarraum unseres Lehrstuhls abge-

**Symposium on High-Entropy Alloys / Christmas Party of the Institute for Materials:** At the end of 2018, Guillaume Laplanche organized a symposium on high-entropy alloys that was held on September 18-22. This field had developed into one of our research strongholds. All RUB-HEA researchers took part. External guests included Prof. Easo George (ORNL, USA), Dr. Gernot Hausch (an expert in this field who in his active period had worked for Vakuumschmelze in Hanau) and Prof. Antonin Dlouhy (from IPM Brno). The Institute's Christmas party was held



halten. An das Seminar schloss sich die Weihnachtsfeier des Instituts für Werkstoffe an, die diesmal im kleineren Rahmen in unserer Versuchshalle organisiert wurde. Die große 50-Jahrfeier des Instituts, an der sich alle treffen konnten, hatte gerade erst stattgefunden.

*immediately after the end of the high-entropy symposium. It was organized in our experimental hall in a smaller setting, because our 50th anniversary celebration, where we met our alumni, had just taken place.*



**Bild 4.71:** Teilnehmer des Symposiums Hochentropielegierungen, Dezember 2018.

*Fig. 4.71: Participants of the High-Entropy Alloy symposium, December 2018.*

**2019:**

**Vorbereitung auf die Begutachtung des SFB/TR 103 für die dritte und letzte Förderphase:** Die erste Hälfte des Jahres 2019 war sehr stark durch die Vorbereitungen für die Begutachtung des SFB/TR 103 geprägt. Das Jahr begann mit einer Wechselwirkungswoche im Konferenzhotel Badersee in Grainau. Hier wurden alle geplanten Einzelprojekte im Detail vorgestellt und diskutiert. Die Vernetzungen zwischen den Projekten wurden besprochen. Dabei wurde der Rat von eingeladenen Experten mit in die Überlegungen einbezogen. Zu diesen gehörten Leonardo Agudo (BAM), Uwe Glatzel (Uni Bayreuth), Karlheinz Lang (KIT), Ralf Rettig (ThermoCalc, Schweden), Thomas Gartner (Lufthansa Hamburg) und Johannes Gabel (MTU München). Das Treffen fand vom 14. bis 18. Januar statt. Dort wurde auch die Marschroute bis zur Begutachtung im Juli 2019 festgelegt.

**2019:**

*Preparation for the assessment of the proposal for the third funding phase of SFB/TR 103: The first half of 2019 was strongly shaped by the preparation of the assessment of our superalloy center SFB/TR 103. The year started with an Interaction Week that was held at the conference hotel Badersee in Grainau. All projects for the third and last phase of the collaborative research center were presented and discussed. The crosslinking of individual projects in overarching topics was planned. External experts, who were invited to the meeting gave advice (Leonardo Agudo - BAM, Uwe Glatzel - Uni Bayreuth, Karlheinz Lang - KIT, Ralf Rettig - ThermoCalc, Sweden, Thomas Gartner - Lufthansa Hamburg and Johannes Gabel - MTU Munich). The meeting was held on January 14-18. The road map towards the assessment in July 2019 was agreed upon.*



**Bild 4.72:** Wechselwirkungswoche des SFB/TR 103 in Grainau, Januar 2019.

**Fig. 4.72:** Interaction Week of SFB/TR 103 in Grainau, January 2019.

**Prof. Robert F. Singer:** Robert Singer war entscheidend an der Einrichtung des SFB/TR 103 beteiligt. Ohne seine wissenschaftliche Exzellenz im Bereich einkristalliner Superlegierungen wäre das Verbundprojekt nicht zustande gekommen. Am Treffen in Grainau hatte er noch engagiert teilgenommen. Für uns schmerzlich und überraschend, verstarb er plötzlich am 26. Januar 2019 im Alter von 68 Jahren. Robert Singer war an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Professor für Werkstoffkunde und Technologie der Metalle. In Fürth leitete er das Bayrische Forschungszentrum NMF (Neue Materialien Fürth), dessen Infrastruktur der SFB/TR 103 für einige Treffen nutzen konnte. Robert Singer war für uns ein Partner und Freund, dem wir ein ehrendes Andenken bewahren.

**Prof. Robert F. Singer:** Robert Singer helped to initiate the Collaborative Research Center SFB/TR 103. Without his scientific excellence and technological experience in the superalloy field, the project could not have been realized. He participated in the Grainau meeting, where he provided many new ideas. Only shortly after the meeting, on January 26, 2019, Robert Singer passed away at the age of 68. He was a Professor of Materials Science and Technology of Metals at the Friedrich Alexander University of Erlangen. In Fürth, he was in charge of the Bavarian Materials Research Center NMF (Neue Materialien Fürth), where we could organize some of our SFB/TR 103 group meetings. Robert Singer was a partner and friend, whom we will dearly miss.



**Bild 4.73:** Robert Singer diskutiert mit jungen SFB/TR 103-Wissenschaftler\*innen.

**Fig. 4.73:** Robert Singer discussing with SFB/TR 103 young scientists.

**Habilitation Dr.-Ing. Jan Frenzel:** Am 21. Januar 2019 schloss Jan Frenzel mit einer Antrittsvorlesung zum Thema „Hommage an das Lichtmikroskop als wichtiges Instrument zur mikrostrukturellen Charakterisierung“ sein Habilitationsverfahren ab. Vorab hatte er im Herbst 2018 eine kumulative Habilitationsschrift mit dem Titel „Werkstoffprocessing und

**Habilitation (qualification as a professor) of Dr.-Ing. Jan Frenzel:** On January 21, 2019, Jan Frenzel had fulfilled all requirements for qualifying as a professor, giving an inaugural lecture on the “Undisputable merit of optical microscope as an important instrument for microstructural characterization.” Prior to this final step in our procedure for qualifying



werkstoffwissenschaftlicher Erkenntnisgewinn – Fallstudien zur Erforschung mikrostruktureller Elementarprozesse“ eingereicht, und diese im November 2018 verteidigt. Bei der Verteidigung hielt er einen Vortrag über „Asteroiden und Meteoriten – Neue Quellen für Rohstoffe und Werkstoffe?“, der auf großes Interesse stieß. Am 18.11.2019 erfolgte die Ernennung von Jan Frenzel zum Apl.-Professor für das Lehrgebiet Werkstoff-processing. Jan Frenzel leitet am Lehrstuhl Werkstoffe eine Arbeitsgruppe mit diesem Titel, in der er sich mit Formgedächtnislegierungen und einkristallinen Superlegierungen beschäftigt.

**Neue Geräte für das Tagesgeschäft:** Im Antrag für die zweite Förderphase des SFB/TR 103 waren eine neue Hochtemperaturprüfmaschine und ein neues Rasterelektronenmikroskop beantragt worden. Diese wurden von den Gutachtern befürwortet. Die Beschaffung wurde eingeleitet. Seit Mitte 2019 sind die beiden Geräte verfügbar.

*as a professor, he had handed in a cumulative professorial dissertation entitled: “Materials processing and new insights – case studies on the discovery of elementary micro-structural processes.” He defended his dissertation towards the end of 2018 and gave a presentation on “Asteroids and Meteorites – do they represent new resources for materials?” It was well received by the members of the faculty of Mechanical Engineering. On November 18, 2019, Jan Frenzel was nominated as an Adjunct Professor for the research field of Materials Processing. The research group of Jan Frenzel works on shape memory alloys and on single crystal superalloys.*

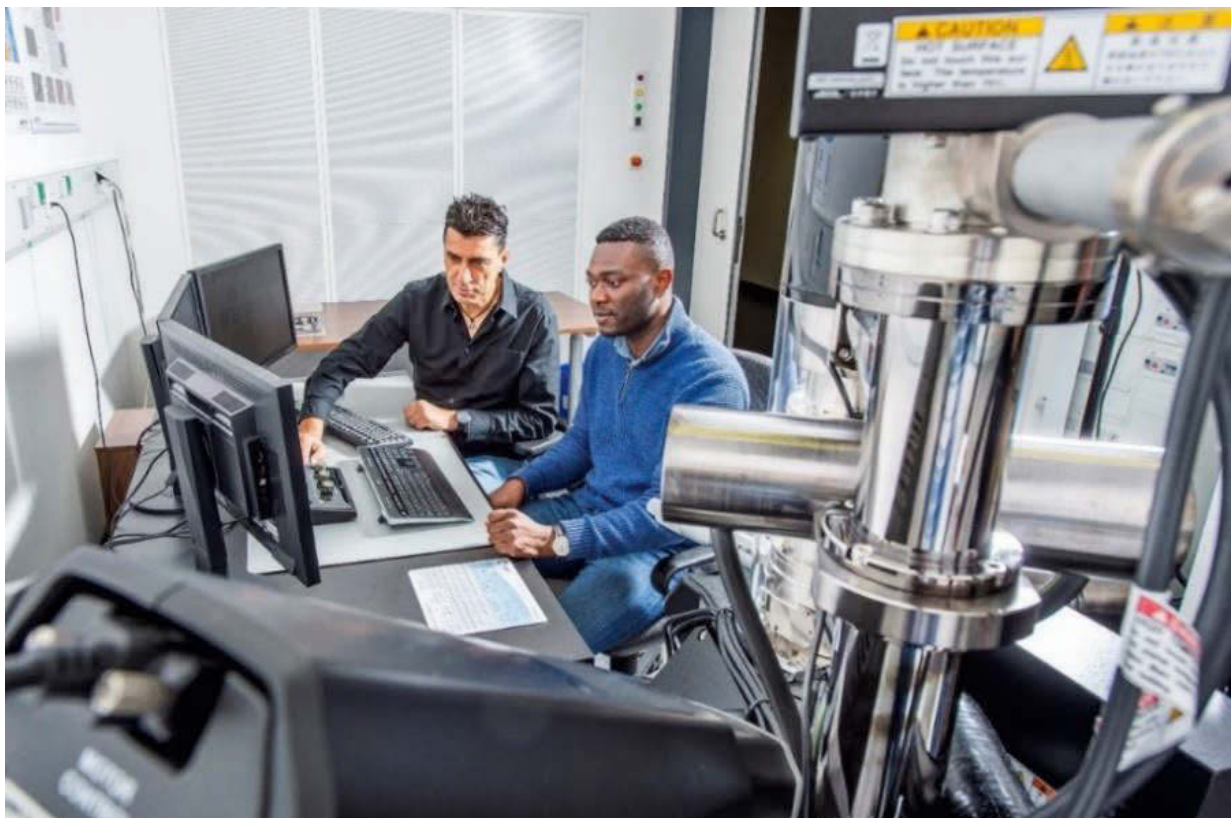
**New research instruments:** *In the proposal for the second funding phase of SFB/TR 103, we requested a new high-temperature test rig and a new scanning electron microscope. They were granted, and the formal purchasing procedure was initiated. The instruments were installed in 2018 and were operational in 2019.*



**Bild 4.74:** Dietmar Rose und Marc Sirrenberg arbeiten an der neuen Hochtemperaturprüfmaschine MTS Criterion Model 45. **Fig. 4.74:** Dietmar Rose and Marc Sirrenberg working with the new high-temperature test rig MTS Criterion Model 45.

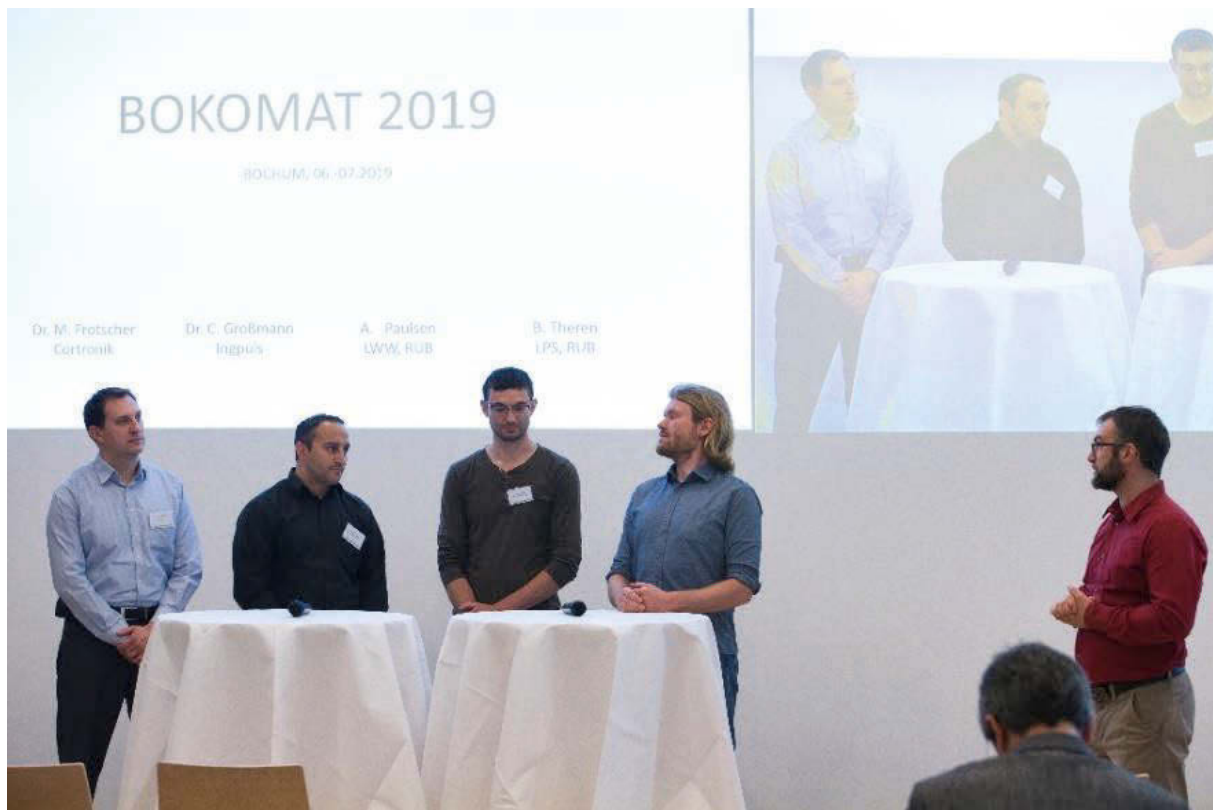
**Kommissionen:** Zwei Kommissionen waren Anfang 2019 aktiv. Die eine Kommission befasste sich mit der Parallelbesetzung der Professur am Lehrstuhl Werkstofftechnik. Ihre Arbeit war mit der Berufung von Sebastian Weber auf den Lehrstuhl Werkstofftechnik erfolgreich beendet. In einer zweiten Kommission ging es um die Gründung eines neuen Studiengangs *Materialwissenschaft*. Hier mussten zunächst die Universitätsgremien überzeugt werden und Kapazitäten ausgelotet werden. Dann ging es in dieser Kommission um das Abstimmen von Lehrinhalten. Im Sommer 2019 übernahm Alexander Hartmaier (ICAMS) die Leitung der Kommission. Die Kommission treibt die Akkreditierung des neuen Studiengangs weiter voran, der im Wintersemester 2021/22 seine Arbeit aufnimmt.

**Committees:** In 2019, two committees were working. One had the task of finding a suitable candidate for the Chair of Materials Technology (overlapping share leadership with Werner Theisen). The work of this committee successfully came to an end when Sebastian Weber accepted the call. The second committee planned a new bachelor course in Materials Science. In a first step, the university panels needed to be convinced, and the availability of resources were explored. Then the content of the curriculum was discussed. In the summer of 2019, Alexander Hartmaier (ICAMS) took on the helm of the committee. The committee is presently working on the accreditation procedures and has started advertising for the new course of studies. The bachelor program will start in the 2021-22 winter semester.



**Bild 4.75:** Norbert Lindner und Alex Asabre am neuen SEM Jeol JSM IT 300.

**Fig. 4.75:** Norbert Lindner and Alex Asabre working with the new SEM Jeol JSM IT 300.



**Bild 4.76:** Podiumsdiskussion am Ende der BOKOMAT 2019. **Fig. 4.76:** *Panel discussion concluding BOKOMAT 2019.* **V.l.n.r./LTR:** M. Frotscher (Cortronik), Christian Großmann (Ingpuls), Alexander Paulsen (WW-RUB), Benedict Theren (LPS-RUB), Burkhard Maaß (Ingpuls, moderator).

**BOKOMAT 2019:** Gemeinsam mit der Firma Ingpuls veranstalteten wir am 6. und 7. Mai 2019 wieder ein BOKOMAT-Symposium. Die BOKOMAT erfreut sich bereits seit mehr als 20 Jahren wachsender Beliebtheit. Sie richtet sich an alle FormgedächtnisforscherInnen aus dem deutschsprachigen Raum und stellt eine Plattform dar, wo sich Wissenschaftler aus der Hochschule mit Experten aus der Industrie austauschen können. Vorträge werden ausführlich diskutiert. Es gibt ein gemütliches Zusammensein, am Ende des ersten Tages des Symposiums. In der Regel endet die Veranstaltung am frühen Nachmittag des zweiten Tages mit einer Podiumsdiskussion. Die Formgedächtnisforschung an der RUB hat in den letzten Jahren wieder Fahrt aufgenommen. Dies ist einmal den neuen Themen zu verdanken, die bei uns in der Gruppe von Jan Frenzel bearbeitet werden: High Tempe-

**BOKOMAT 2019:** *On May 6-7, we organized together with Ingpuls another symposium within the BOKOMAT conference series, which we have successfully managed for more than 20 years. BOKOMAT provides a platform for shape memory researchers from the German-speaking regions in Europe, where scientists from universities and experts from industry meet, discuss and exchange ideas. It consists of presentations with sufficient room for discussions. There is a social gathering in the evening of the first day. It has become a tradition that the meeting ends with a panel discussion in early afternoon of the second day. Shape memory research has been keenly focused upon in our group and at our university. There are new fascinating research topics the group of Jan Frenzel is working on: high-temperature shape memory alloys (there was a DFG-funded research group),*



ature Shape Memory Alloys (hier gab es eine DFG Forschergruppe), High Entropy Shape Memory Alloys (hier arbeiten wir im DFG-Schwerpunktprogramm High Entropy Alloys mit) und Ferroic Cooling (auch dieses Feld wird von der DFG in einem Schwerpunktprogramm gefördert). Zum anderen ist das auch auf den Erfolg der Firma Ingpuls zurückzuführen, die sich zu einem nationalen Player entwickelt hat und weiter im Wachstum begriffen ist.

*high-entropy shape memory alloys (the DFG had a priority program in the area of high-entropy alloys) and ferroic cooling (where another DFG priority program was funded within the reporting period). The new interest in shape memory research is also associated with the success of our spin-off Ingpuls. The company has transferred our basic insights into commercially successful industrial applications.*



**Bild 4.77:** Prof. Andreas Meyer vom Institut für Materialphysik im Weltraum (DLR Köln) stellt seine Arbeiten zur Diffusion in Schmelzen vor. Materialwissenschaftliche Tag des MRD, 27. Mai 2019. **Fig. 4.77:** Prof. Andreas Meyer from the Institute for Materials Physics in Space presents his work on diffusion in melts, MRD Materials Day, May 27, 2019.

**MRD – Materials Day:** Seit Januar 2018 ist Gunther Eggeler gemeinsam mit Ralf Drautz (ICAMS) Sprecher des fakultätenübergreifenden Materials Research Departments (MRD) der RUB. Das MRD stellt eine Plattform dar, die einen Austausch zwischen den Materialwissenschaftlern der RUB ermöglicht. Das MRD möchte Innen- und Außenwirkung erzielen. Zu seinen Aktivitäten gehört das Abhalten von Materialwissenschaftlichen

**MRD – Materials Day:** Since January 2018, Gunther Eggeler and Ralf Drautz (ICAMS) have jointly coordinated the interdisciplinary Materials Research Department (MRD) of our university. The MRD is a platform that facilitates exchange of ideas and the sharing of expensive research infrastructure. It aims at promoting RUB materials research and strengthening RUB's outreach in the materials area. One of the MRD activities

Tagen, an denen sich neue Mitglieder vorstellen und wo auch auswärtige Gäste vortragen. Es gibt zwei Materialwissenschaftliche Tage pro Jahr. Der erste MRD-Tag des Jahres 2019 fand am 27. Mai im Zentrum für IT-Sicherheit (Technologiezentrum nahe der RUB statt). Axel Marquardt ist einer der beiden Science Manager des MRD. Er teilt sich diese Aufgabe mit Pia Aleithe (ICAMS).

*is the organization of Material Days, where new members present their work and external guest contribute interesting topics. The first MRD Day in 2019 was organized on May 27 at the Center for IT Security (in the Technology Center close to RUB). Axel Marquardt is one of the two science managers of the MRD; the other is Pia Aleithe from ICAMS.*

**„Urban Trail Run Bochum“:** Am 29. Juni nahm eine Gruppe unseres Lehrstuhls am „Urban Trail Run Bochum“ teil, der von Urban Trail organisiert wurde. Es ging 10 km durch die Innenstadt von Bochum. Felicitas Scholz hat zuvor Lehrstuhl-T-Shirts organisiert, die auch von denen nachgefragt wurden, die nicht am Halbmarathon teilnahmen.

**“Urban Trail Run Bochum”:** *On June 29, a group from our Chair participated in the “Urban Trail Run Bochum,” which was organized by Urban Trail. All members ran 10 km through the city of Bochum. Felicitas Scholz had organized LWW T-shirts (we abbreviate our group with LWW), which were sought after by many members of our group.*



**Bild 4.78:** Teilnahme am „Urban Trail Run Bochum“, Juni 2019.

**Fig. 4.78:** Participation in Bochum city “Urban Trail Run Bochum,” June 2019.



**Bild 4.79:** Begutachtung des SFB/TR 103 im Juli 2019. Warten auf die Gutachter. Mitte: Mike Mills, Sprecher unseres Technical Academic Advisory Boards.

*Fig. 4.79: Assessment of SF/TR 103 in July 2019; waiting for the review panel to arrive. Middle: Mike Mills, SFB/TR 103 chairman of the Technical Academic Advisory Board.*

**Begutachtung SFB/TR 103:** Am 9. und 10. Juli 2019 war es dann endlich soweit. Unser Verbundprojekt zu einkristallinen Superlegierungen wurde begutachtet. Die Vorbereitungsarbeiten hatten uns fast zwei Jahre lang in Atem gehalten, insbesondere galt dies für die zweite Jahreshälfte 2018 und die erste 2019. Es musste Veröffentlichungoutput erzielt werden. Es galt, einen attraktiven Forschungsantrag zu formulieren. Dabei mussten neue wissenschaftliche Aufgaben definiert werden, die nach 8 Jahren Förderung noch einmal 4 weitere Jahre rechtfertigten. Vor allem musste sichtbar gemacht werden, dass über die Standortgrenzen hinweg gut zusammengearbeitet wurde. Diesem Punkt hatten wir besondere Aufmerksamkeit geschenkt, und so konnte man eine ansehnliche Zahl von Publikationen vorweisen, an denen WissenschaftlerInnen von mehreren Standorten und aus mehr als einem Projektblock (auch das war wichtig) teilnahmen.

*Assessment SFB/TR 103: On July 9-10, 2019, the long anticipated assessment of our collaborative research project on single crystal superalloys took place. The preparation had kept us busy for a long time, especially in the second half of 2018 and the first part of 2019. We had to write research papers. An attractive proposal had to be prepared. This included the definition of new research goals. We had to show that after 8 years of funding, another 4-year project period was justified. An important aspect was to demonstrate that the scientific collaboration between the different affiliations (RUB Bochum, FAU Erlangen, MPIE Düsseldorf, DLR Cologne and FZ Jülich) worked well and efficiently. We had paid special attention to this last point and were able to present quite a considerable number of research papers that appeared in peer reviewed international journals with authors from different affiliations and from more than one of the three project blocks of the Collaborative Center.*



Wir hatten von unseren Kolleginnen und Kollegen aus Erlangen, Düsseldorf, Jülich und Köln hervorragende Unterstützung. Unser Erlanger Kooperationspartner unterstützte uns mit Expertise in Technologie, Hochtemperaturkorrosion, Elektronenmikroskopie, Mikromechanik und atomistischer Modellierung hervorragend. Im Vorfeld der Begutachtung wurden die Vorträge und der Ablauf der Begutachtung geprobt. Mike Mills, der Sprecher unseres Technical Academic Advisory Boards (TAABs), war von der The Ohio State University in Columbus angereist, um uns bei der Begutachtung zu unterstützen.

*In all respects, we had excellent support from our partners. Especially our university partner in Erlangen brought in expertise in materials technology, high-temperature corrosion, electron microscopy, micromechanics and atomistic modeling. In the run-up to the assessment, we carefully rehearsed all presentations and prepared the schedule for the two days. Prof. Mike Mills from The Ohio State University, the chairman of our TAAB, came from Columbus to support us during the assessment.*



**Bild 4.80:** Zwischenbesprechung bei der Begutachtung des SFB/TR 103 im Juli 2019.

**Fig. 4.80:** *Intermediate discussion during the assessment of SFB/TR 103 in July 2019.*

Die Begutachtung fand an der Ruhr-Universität Bochum im Veranstaltungszentrum statt. Die Einzelprojekte wurden an Postern begutachtet. Dabei hatten die externen SFB/TR 103 Partner Exponate mitgebracht. In Bochum bestand für die Gutachter/innen die Möglichkeit, experimentelle Einrichtungen vor Ort zu besichtigen. Die Begutachtung der Einzelprojekte fand im Gebäude ICFO (Elektronenmikroskopie, Mikromechanik, Kriechen), und in den Versuchshallen der Ingenieurwissenschaften statt (Erstarren

*The assessment took place at the Ruhr-Universität Bochum. The RUB Conference Center is ideally suited for oral presentations. All individual projects had prepared posters. The external partners had brought exhibits where appropriate. The reviewers of our center had the option of visiting the experimental facilities of the RUB projects. The individual projects presented their proposals in the ICFO building (electron microscopy, micromechanics, creep) and in our experimental halls (solidification and multiple step heat*

und Wärmebehandlung, HIP, Additive Fertigung, Skalenübergreifende Modellierung). Für unseren Lehrstuhl waren Jan Frenzel und Guillaume Laplanche erstmals mit eigenen Projekten ins Rennen gegangen. Außerdem hatten wir mit Pascal Thome die orientierungsabbildende Rasterelektronenmikroskopie und das Machine Learning über mehrere Projekte verteilt eingebracht. Mit einem guten Gefühl gingen wir nach der Begutachtung in die Sommerpause. Allerdings musste noch bis Ende November gewartet werden, bis das Ergebnis feststand.

*treatments, HIP, additive manufacturing, scale bridging modelling). For our group, Jan Frenzel and Guillaume Laplanche had project proposals of their own (unlike in the past, when they participated as partners). A new element in the proposal was a strong focus on orientation imaging microscopy (SEM) and on machine learning, expertise that Pascal Thome provides for several projects. The assessment went well, as far as we could tell, but we had to wait for the final decision until the end of November.*



**Bild 4.81:** Unsere Erlanger Partner freuen sich über die Bewilligung unseres gemeinsamen SFB/TR 103, November 2019. Mitte: Erlanger Sprecherin Prof. C. Körner. **Fig. 4.81:** *Our partners from Erlangen celebrating the success of our third SFB/TR 103 proposal, November 2019. In the middle: Erlangen speaker Prof. C. Körner.*

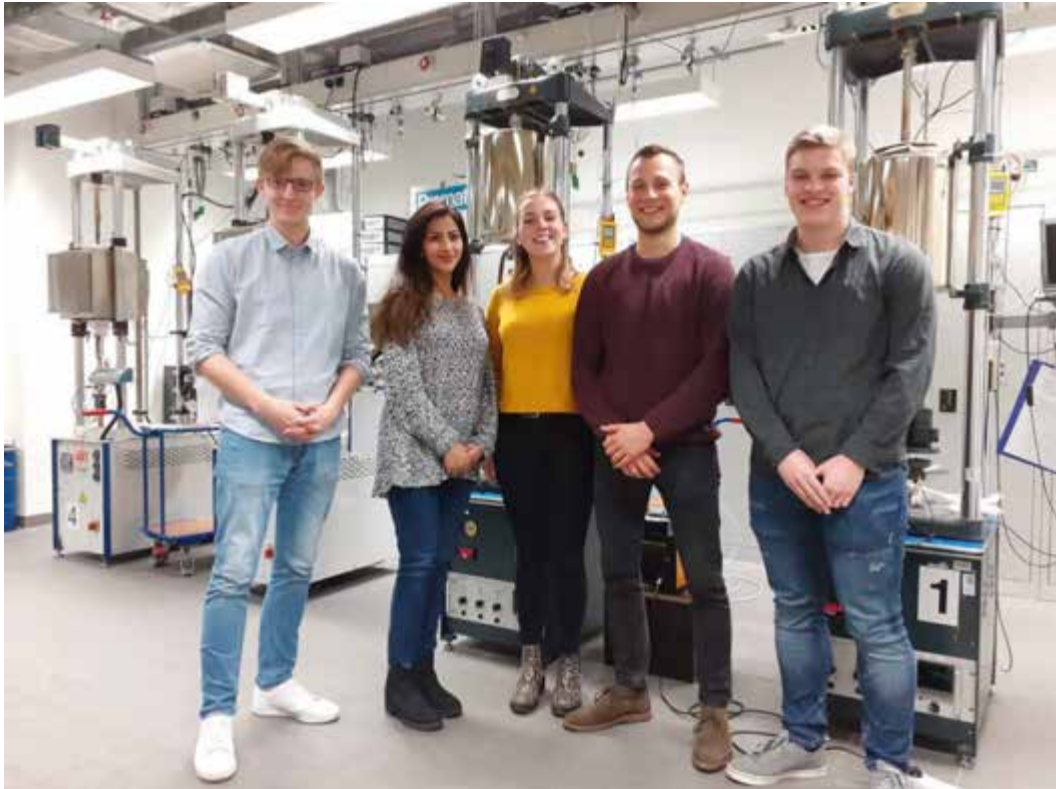
**Glückwünsche aus Erlangen:** Als bekannt wurde, dass unser SFB/TR 103 es in die dritte Förderphase geschafft hatte, schickten die Erlanger Kolleginnen und Kollegen ein Glückwunschfoto, womit sie uns (und natürlich auch sich selbst) gratulierten. Ohne die Erlanger wäre es nicht

**Congratulations from Erlangen:** *When it became known we had made it into the third and last four-year funding period, our colleagues from Erlangen sent us a photograph of congratulations (for us and themselves). Without the expertise from Erlangen, our superalloy center would not*



gegangen. Mit Blick auf die Forschung an einkristallinen Superlegierungen funktionierte die Partnerschaft mit den Erlangern hervorragend. Gemeinsam haben wir alle drei Antragsphasen überstanden, ohne ein einziges Projekt zu verlieren. Nach dem Ausscheiden von Robert Singer hatte bereits 2018 Carolin Körner die Rolle der Erlanger Standortsprecherin übernommen.

*have been that successful. With respect to research on single crystal superalloys, the partnership with Erlangen turned out extremely well. Together, we successfully passed three assessments without losing a single project. After Robert Singer had retired, Carolin Körner took over as the speaker of the Erlangen projects in SFB/TR 103 in January 2018.*



**Bild 4.82:** Gruppe von Oliver Horst Ende 2019.  
**Fig. 4.82:** Oliver Horst and students, end of 2019.

**Oliver Horst-Gruppe:** Oliver Horst hat mit seiner Gruppe ein Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe man für unterschiedliche Superlegierungen gleiche Mikrostrukturen einstellen kann. Zwar hatte dies bis zur Begutachtung nicht mehr geklappt. Aber kurz danach war es soweit und die Ergebnisse konnten in den Proceedings der internationalen Superalloy-Konferenz veröffentlicht werden. Es ging dabei um den Einfluss der Legierungschemie auf das Kriechverhalten. Diesen kann man nur bestimmen, wenn nicht unterschiedliche Mikrostrukturen einen weiteren Beitrag leisten. Die Arbeit

**Oliver Horst group:** *As part of his thesis, Oliver Horst and the students who worked with him have developed a method that allows establishing similar microstructures in single crystal superalloys with different chemical compositions. These results came too late for the assessment of our center; but towards the end of the year, the results were accepted for publication in the proceedings of the international superalloy conference. Background was the influence of alloy composition on creep performance. One can only make a meaningful comparison when alloys with different chemical*



entstand in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl von Frau Prof. Körner von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen, wo Paul Git die Versuchslegierungen herstellte. Für das Verständnis der Mechanismen des Kriechens war diese Arbeit lange überfällig.

*compositions have similar microstructures. The work was performed in collaboration with our partners Prof. Körner and Dr. Git from Erlangen. For a better understanding of single crystal superalloys, this work was long overdue.*



**Bild 4.83:** Bochumer Professoren bei der Festveranstaltung 100 Jahre DGM (Eggeler, Pohl, Hartmaier und Monstadt). **Fig. 4.83:** *Professors from Bochum participating in the symposium celebrating the 100th anniversary of our society DGM (Eggeler, Pohl, Hartmaier and Monstadt).*

**100 Jahre DGM:** Am 27. November 2019 fand die Festveranstaltung zum hundertjährigen Bestehen unserer Fachgesellschaft DGM statt. Gefeierte wurde im AXICA Kongress- und Tagungszentrum am Pariser Platz 3 in Berlin, direkt am Brandenburger Tor. Die DGM-Präsidenten Prof. Frank Mücklich (Saarbrücken) und Dr. Oliver Schauerte (Leiter des Forschungsfeldes Werkstoffe und Fertigungsverfahren bei VW Forschung, ein Bochumer Absolvent) führten durch ein attraktives Programm. Wir Bochumer waren bei der Tagung prominent vertreten. Gunther Eggeler nutzte die Gelegenheit, um Erhard Hornbogen, den Gründer unseres Instituts, in Potsdam in seinem Seniorenheim zu besuchen. Mit Herrn Hornbogen sprach er über die Entwicklung der DGM in den letzten 40 Jahren und über die Geschichte unseres Instituts für Werkstoffe in Bochum.

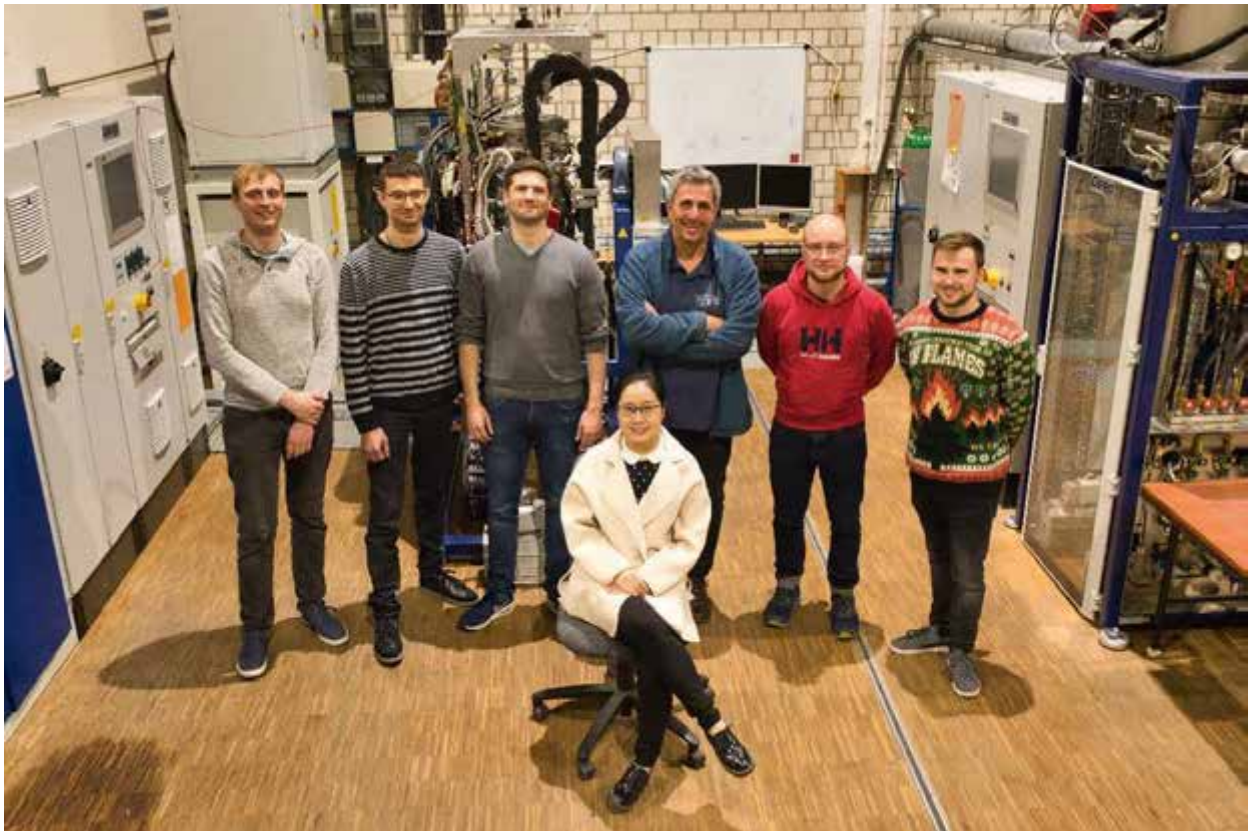
**100 Years DGM:** *On November 27, 2019, our German materials society DGM (abbreviation for Deutsche Gesellschaft für Materialkunde, English: German Society for Materials Research) celebrated its 100th anniversary. The celebration took place in Berlin, in the AXIA Congress Center at Pariser Platz, right next to the Brandenburg Gate. The two DGM presidents, Prof. Frank Mücklich (University of Saarbrücken) and Dr. Oliver Schauerte (Materials Research VW), moderated an attractive program. Bochum-based materials researchers from our university and from industry participated in the meeting. On his way back home, Gunther Eggeler visited Erhard Hornbogen in his retirement home close to Potsdam. They discussed the last 40 years of our DGM and the history of our Institute for Materials at the Ruhr University Bochum.*

**Jahresabschlussfeier:** Am 19. Dezember 2019 fand im Veranstaltungszentrum der RUB die Jahresabschlussfeier des Instituts für Werkstoffe in Form eines Symposiums statt. Die Veranstaltung erfolgte wieder in kleinerem Rahmen. Die einzelnen Einheiten und Arbeitsgruppen des Instituts stellten sich den Ehemaligen vor, denen offiziell mitgeteilt wurde, dass Sebastian Weber an den Lehrstuhl Werkstofftechnik berufen worden war. Im Anschluss an das Symposium fand ein gemütliches Beisammensein im Bistro der Mensa statt.

**Sechs Dr.-Ing. Prüfungen:** Am 20. Dezember 2019 feierte Lijie Cao gemeinsam mit fünf Kollegen den Abschluss ihrer Doktorarbeiten in der großen Versuchshalle unseres Instituts. Mit dieser Feier endeten für uns die Aktivitäten des Jahres 2019, und es schlossen sich die Winterferien an.

**End of year celebration:** On December 19, we organized a party to celebrate the end of the year at the Institute for Materials. The celebration was held in the Conference Center and in the cafeteria of our university. All units of our institute presented their work. The alumni and all members of the institute were officially informed that Sebastian Weber had accepted the offer to join our institute as a Professor for Materials Technology. After the presentations, attendees of the symposium had a cosy get-together in the cafeteria.

**Six Dr.-Ing. exams:** On December 20, six of our PhD candidates celebrated their Dr.-Ing. degrees, after having written a thesis and passed the oral exam. The celebration was held in the experimental hall of the Institute for Materials. It marked the end of our 2019 work prior to the winter break.



**Bild 4.84:** Feier anlässlich des erfolgreichen Abschlusses von einer Doktorandin und fünf Doktoranden, 20. Dezember 2019. **Fig. 4.84:** Celebration of six successful Dr.-Ing. research exams. V.l.n.r./LTR.: Dennis Langenkämper, Alexander Paulsen, Pascal Thome, Gunther Eggeler, Axel Marquardt, David Bürger. Vorne/in front: Lijie Cao.



**2020:**

**Vor der Pandemie:** Zwar hatte man Ende 2019 von einer ansteckenden Krankheit in China gehört, aber wie stark uns das in 2020 beeinflussen sollte war zu Beginn des Jahres noch nicht abzusehen. Mit den Ende 2019 bewilligten SFB/TR 103 Mitteln starteten wir das Jahr zunächst mit den üblichen administrativen Aktivitäten (Einrichten von Konten, Beschaffungen, ...). Außerdem galt es, andere Bereiche, die wir wegen des SFB/TR 103 zurückgestellt hatten, wieder aus einem fast zweijährigen Dornröschenschlaf zu erwecken, insbesondere die Bereiche Formgedächtnislegierungen, Hochentropielegierungen und Formgedächtnispolymere.

**Data Science of Superalloys:** Am 30. und 31. Januar organisierten wir gemeinsam mit Thomas Hammerschmidt (ICAMS) und Uwe Glatzel (Uni Bayreuth) ein internationales Symposium zu Fragen rund um das Thema Datenwissenschaften von Superlegierungen.

**2020:**

**Before COVID-19:** While we had heard at the end of 2019 that there was a contagious disease in China, nobody could imagine how strongly the major part of 2020 would be impacted by the worldwide pandemic to come. We started 2020 with administrative activities following the renewal of the Collaborative Research Center (setting up accounts, starting purchasing of research equipment, etc.). Most importantly, our research fields that we had to put on the back burner because of last year's assessment, had to be reanimated, especially our research on shape memory alloys, high-entropy alloys and on shape memory polymers.

**Data Science symposium:** On January 30-31, together with Thomas Hammerschmidt (ICAMS) and Uwe Glatzel (Uni Bayreuth), we organized a symposium that was devoted to the data science of single crystal Ni- and Co-base superalloys.



**Bild 4.85:** Teilnehmer des internationalen Symposiums Superalloy Data Science, Januar 2020. **Fig. 4.85:** Participants of the Superalloy Data Science symposium, January 2020.



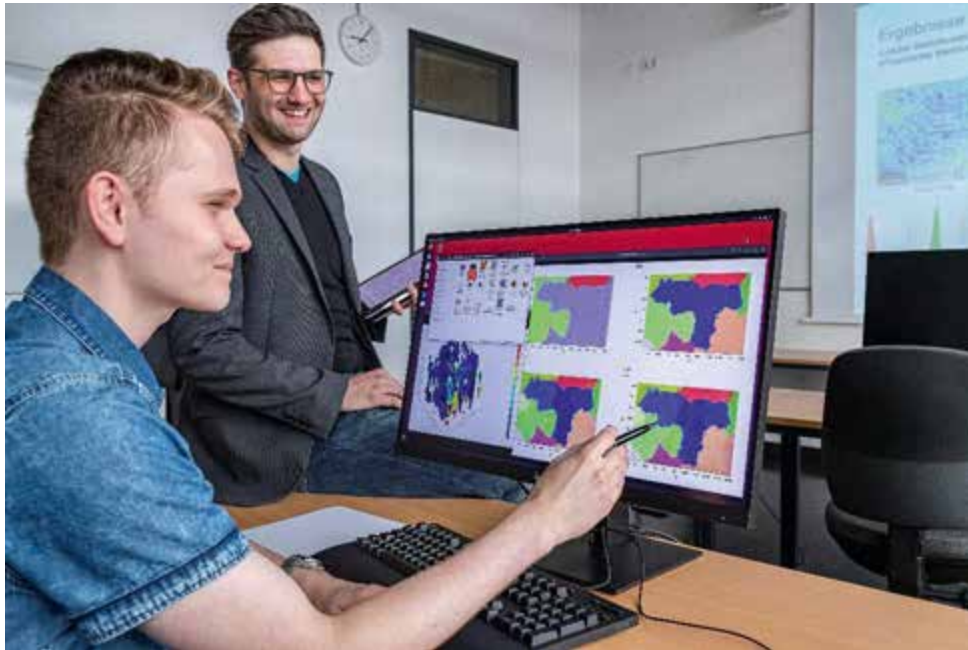
Ziel des Symposiums war es, interdisziplinäre Aspekte der Datenwissenschaften einkristalliner Superlegierungen zu beleuchten, Bereiche zu definieren an denen schwerpunktmäßig gearbeitet werden sollte und das Potential von Machine Learning Methoden auszuloten. Das Symposium vermittelte einen guten Überblick über den Stand der Kenntnisse, über die Verfügbarkeit von Daten, über Methoden der Datenerfassung, der Datenspeicherung und des Data Minings. Dabei wurde auch über die heterogene Natur unterschiedlichster Daten gesprochen, die in der Superlegierungstechnik wichtig sind. Unter den Gästen konnten wir begrüßen: Stefanie Reese (RWTH), Chris Eberl (IWM), Tilmann Hickel (MPIE), Luca Ghirnghellie (Fritz Haber Institut), Cathie Rae (University of Cambridge), Antonin Dlouhy (IPM Brno), Yunzhi Wang (OSU), Krishna Rajari (University of Buffalo) and Surya R. Kalidindi (Georgia Tech).

**Mikrostruktur-Informatik:** Mit der Förderzusage für die dritte Phase des SFB/TR 103 nahm die neue Forschungsgruppe von Pascal Thome ihre Arbeit auf. Es geht um eine Weiterentwicklung mikroskopischer Methoden. Hier soll die Methode zur hochauflösenden orientierungsabbildenden Rasterelektronenmikroskopie weiterentwickelt werden, auch mit Blick auf eine dreidimensionale Auswertung der Orientierungsdaten. Darüber hinaus soll es aber auch um den Einsatz des Machine Learnings in der quantitativen Analyse mikroskopischer Bilder gehen. Zur neuen Gruppe gehört neben Pascal Thome auch Alexander Richter, der als Bachelor of Honors das Maschinenbaustudium abgeschlossen hat. Die neue Gruppe arbeitet an Superlegierungen und an Grundlagen der martensitischen Umwandlung.

*The main objective was to review interdisciplinary aspects of superalloy data science, to identify areas in need of development and to explore the potential of machine learning tools. The symposium established the state of the art in superalloy data science, identified available data and discussed all aspects associated with data acquisition, data storage and data mining of heterogeneous research data. Emphasis was placed on how to apply machine learning concepts and material informatics in advanced superalloy technology.*

*Among the guests, we welcomed Stefanie Reese (RWTH), Chris Eberl (IWM), Tilmann Hickel (MPIE), Luca Ghirnghellie (Fritz Haber Institute), Cathie Rae (University of Cambridge), Antonin Dlouhy (IPM Brno), Yunzhi Wang (OSU), Krishna Rajari (University of Buffalo) and Surya R. Kalidindi (Georgia Tech).*

**Microstructure Data Science:** *When our proposal for the last four-year funding period of SFB/TR 103 was accepted, the new research group of Pascal Thome was installed. One focus of the group is on the advancement of new microscopic methods. The SEM rotation vector baseline method that Pascal published in 2019, will be further improved, also with respect to the possibility to analyze orientations in 3D space. The group will place emphasis on applying machine learning procedures in the quantitative analysis of microscopic images. At the beginning of 2019, the group consisted of Pascal Thome and Alexander Richter, who finished his mechanical engineering studies with a bachelor of honors. The new group works on superalloys and on basic aspects of martensitic transformations.*



**Bild 4.86:** Neue Gruppe Mikrostruktur Informatik – Pascal Thome (Gruppenleiter, rechts) und Alexander Richter (links). **Fig. 4.86:** *New Research Group Microstructure Data Science – Pascal Thome (group leader, right) and Alexander Richter (left).*

**Colorado School of Mines und UC Santa Barbara:** Anfang Februar besuchte Gunther Eggeler die Colorado School of Mines, Gastgeber dort war Aaron Stebner. Mit Aaron verbindet uns das Interesse an Formgedächtnisforschung und an Machine Learning. Er spannt mit seiner Forschung den Bogen von grundlegenden Arbeiten zur Kristallographie der Martensitbildung bis zu angewandten Fragestellungen der additiven Fertigung. Nur wenige Monate nach diesem Besuch wechselte Aaron Stebner an die School of Materials Science and Engineering an die Georgia Tech in Atlanta, Georgia. Wir werden mit ihm in engem Kontakt bleiben. An den Aufenthalt in Golden, Colorado schloss sich ein einwöchiger Aufenthalt an der UC Santa Barbara an. Dort stehen wir in Kontakt mit der Gruppe von Prof. Tresa Pollock, die zum Beraterkreis unseres SFB/TR 103 gehört und an Co- und Ni-Basis Superlegierungen forscht. Außerdem treibt sie die Entwicklung dreidimensionaler Charakterisierung von Mikrostrukturen voran, ein Feld, an dem wir auch Interesse haben.

**Colorado and California:** *In early February, Gunther Eggeler visited the Colorado School of Mines, where he spent a few days with his host Aaron Stebner. Aaron is a world-leading expert in the areas of shape memory alloys and machine learning. His research ranges from basic work on crystallography of martensitic transformation to applied topics like additive manufacturing of complex components. Only a few months after this visit, Aaron Stebner accepted a new position in Materials Science and Engineering department of Georgia Tech in Atlanta, Georgia. We will keep in touch. The visit to Golden, Colorado, was followed by a stay at UC Santa Barbara, where we are in close contact with Prof. Tresa Pollock, a member of the Technical Academic Advisory Board of our SFB/TR 103. Tresa is a leading material scientist in the research on Co- and Ni-base superalloy single crystals. She advances the field of three-dimensional microstructural characterization, with her own 3D ultrafast tomography instrument.*



**Bild 4.87:** Abendessen mit Aaron Stebner und Familie, Golden, Colorado, Februar 2020.

*Fig. 4.87: Dinner with Aaron Stebner and family, Golden, Colorado, February 2020.*

**TMS Tagung in San Diego:** Neun Mitglieder unseres Lehrstuhls nahmen an der TMS Tagung im Februar in San Diego teil. Für viele unserer Forschungsgebiete finden wir an den TMS Tagungen Ansprechpartner. Wir hatten sowohl Vorträge als auch Posterbeiträge. David Bürger stellte seine Arbeiten zu additiv gefertigten Superlegierungen vor, Pascal Thome präsentierte seine hochauflösende EBSD Methode, mit der er Winkelunterschiede unter  $0.1^\circ$  auflösen kann. Jan Frenzel und Felicitas Scholz sprachen über Strukturbildungsprozesse beim Erstarren von Superlegierungen. Larissa Heep stellte ihr Industrieprojekt vor und Oliver Horst sprach über seine Arbeiten zur Legierungsentwicklung. In Mike Schneiders Beitrag ging es um Hochentropielegierungen, und Axel Marquardt stellte seine Arbeiten zu Formgedächtnispolymeren vor. Gunther Eggeler nahm am Nix-TMS-Symposium teil, das erstmals stattfand. Die TMS-Tagungen bot Möglichkeiten zur Wechselwirkung mit Materialwissenschaftlern aus aller Welt.

**TMS Meeting in San Diego:** Nine members of our group participated in the 2020 spring meeting of TMS in San Diego, California. Most of our research subjects are dealt with at these conferences. Our group had oral and poster contributions. David Bürger presented his results on additively manufactured superalloys, and Pascal Thome presented his high-resolution EBSD method. Jan Frenzel and Felicitas Scholz talked about their research results on the evolution of microstructures during solidification. Larissa Heep presented a project that we perform in collaboration with an industry partner; and Oliver Horst explained his work on alloy development. Mike Schneider contributed a presentation on high-entropy alloys, and Axel Marquardt showed recent results on the chemically triggered one-way effect in shape memory polymers. Gunther Eggeler participated in the Nix-TMS symposium that was held for the first time. There were many fruitful interactions with scientists from all over the world.

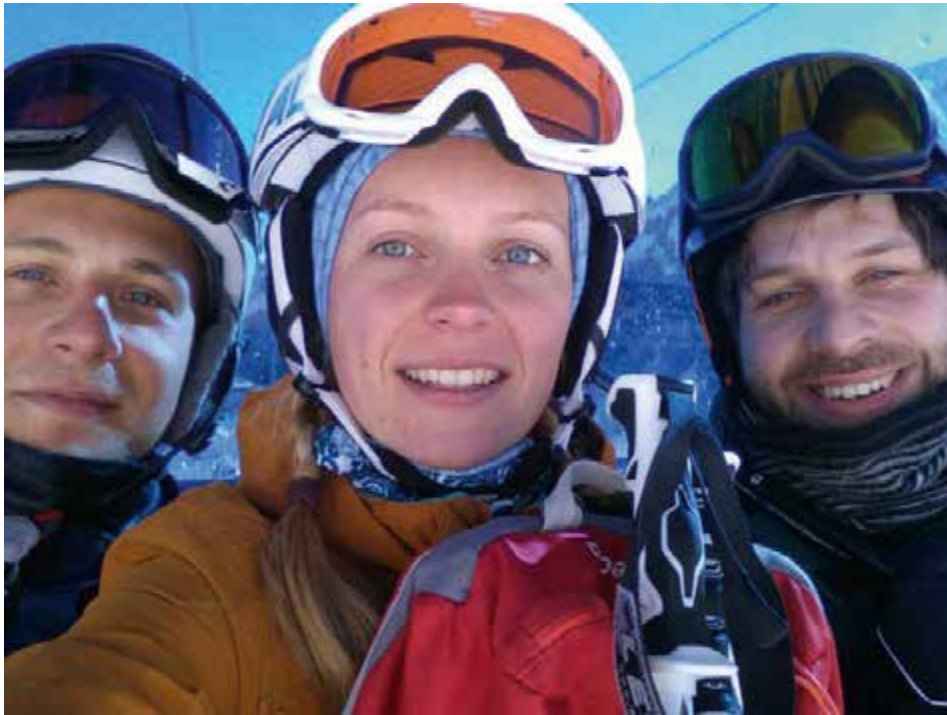




**Bild 4.88:** Unser Lehrstuhl auf der TMS Tagung in San Diego, Februar 2020.  
*Fig. 4.88: Our group at the annual TMS meeting in San Diego, February 2020.*



**Bild 4.89:** Treffen mit alten Bekannten bei der TMS-Tagung: Jim Earthman (UC Irvine, links) und Martin Heilmaier (KIT, rechts).  
*Fig. 4.89: Meeting old friends at the TMS meeting in San Diego: Jim Earthman (UC Irvine, left) and Martin Heilmaier (KIT, right).*



**Bild 4.90:** Oliver Horst, Larissa Heep und Christian Reinhart am Adelbodener Werkstoffseminars, März 2020. **Fig. 4.90:** *Oliver Horst, Larissa Heep and Christian Reinhart at the Adelboden materials seminar, March 2020.*



**Bild 4.91:** Teilnehmer des Adelbodener Werkstoffseminars: Gunther Eggeler (RUB), Isabella Gallino (Uni Saarland), Haël Mughrabi (Uni Erlangen), Joe Maier (RWTH, Aachen) und Wolfgang Kaysser (HZ Geesthacht), März 2020. **Fig. 4.91:** *Participants in the Adelboden materials seminar: Gunther Eggeler (RUB), Isabella Gallino (Uni Saarland), Haël Mughrabi (Uni Erlangen), Joe Maier (RWTH, Aachen) and Wolfgang Kaysser (HZ Geesthacht), March 2020.*



**Adelboden 2020:** Noch vor dem Lock Down fand das Karlsruher Schiseminar in Adelboden in der Schweiz statt. Von unserer Gruppe hielt Christian Reinhart einen Vortrag zu Stapelfehlerenergien in Hochentropielegierungen unterschiedlicher Zusammensetzung. Das Adelbodener Werkstoffseminar war wieder einmal nicht nur wissenschaftlich ein voller Erfolg. Direkt im Anschluss an das Kolloquium ging unser Land in den ersten Lock Down. Auch an unserer Universität kam das Arbeitsleben fast zum Stillstand.

*Adelboden 2020: Just before the first lockdown in response to the COVID-19 pandemic, the ski seminar of Karlsruhe University was organized. From our group, Christian Reinhart presented a talk on stacking fault energies in high-entropy alloys and their dependence on composition. The Adelboden seminar was once again a full success, there was great science combined with great discussions. Directly after the Adelboden meeting, our country and our university underwent the first coronavirus lockdown.*



**Bild 4.92:** Erhard Hornbogen mit 76 auf der Europäischen Martensittagung in Bochum 2006 (links: Marcos Sade, Bariloche; rechts: Jafar Khalil-Allafi, Sahand University). **Fig. 4.92:** Erhard Hornbogen at age 76 participating in the European Symposium on Martensitic Transformations, Bochum 2006 (left: Marcos Sade, Bariloche; right: Jafar Khalil-Allafi, Sahand University).

**Nachruf Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Erhard Hornbogen:** Am 16. April 2020 hat Erhard Hornbogen, der Gründer des Instituts für Werkstoffe der Fakultät für Maschinenbau der Ruhr-Universität Bochum, uns für immer verlassen, nachdem er am 2. Februar diesen Jahres noch seinen 90sten

**Obituary Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Erhard Hornbogen:** Erhard Hornbogen, who was born in Greiz, Thuringia, Germany, on February 2, 1930, passed away on April 16, 2020. He grew up and went to school in Greiz and studied metal physics as a student of Günter Wassermann at the



Geburtstag feiern konnte. Seine letzten Jahre hat er in einem Seniorenheim in Potsdam in der Nähe der Familie seines Sohnes verbracht. Er war geistig noch rege, wenn er auch nicht mehr so reisen konnte wie früher, als er in der ganzen Welt unterwegs war. Noch im November 2019, nach der 100-Jahrfeier der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM), konnte man ihn besuchen und mit ihm sowohl über gesellschaftliche als auch wissenschaftliche Themen (hier insbesondere: Evolution) diskutieren. Erhard Hornbogen hat die Wissenschaft von den Werkstoffen in Deutschland geprägt. Er war Autor mehrerer Lehrbücher und an seinem Lehrstuhl haben eine ganze Reihe späterer Professorinnen und Professoren ihre wissenschaftlichen Laufbahnen begonnen bzw. weitergeführt.

In der Forschung hat Erhard Hornbogen die Mikrostruktur der Werkstoffe ins Zentrum seiner Arbeiten gestellt, war dabei vielfältig aktiv und hat wissenschaftliche Beiträge zu den unterschiedlichsten Themen verfasst (darunter: Formgedächtnislegierungen, Aluminium- und Magnesiumlegierungen, martensitische Umwandlungen, Teilchenhärtung, Quasikristalle, Strukturbildung bei Laserbehandlung, Versetzungsreaktionen [vom Entstehen bei schockartiger Belastung bis zum Schneiden geordneter Phasen], Fraktale, Evolution in Mikrostrukturen, Recycling, Verschleiß und vieles mehr). Er war immer kreativ und innovativ, mit seinen Arbeiten der Zeit meist voraus und konnte besonders gut ordnend systematisieren.

Es lohnt sich immer, zu aktuellen Themen alte Hornbogen-Arbeiten zu lesen, wo das Zusammenwirken der entscheidenden Elementarmechanismen, die das Verhalten von Werkstoffen bestimmen, früh beschrieben wurde.

Erhard Hornbogen hat in Clausthal, bei Professor G. Wassermann, Metallkunde

*University of Clausthal, where he worked on his PhD thesis as a research associate from 1955 to 1957. He was the first to discover the shape memory effect in Cu-based alloys in 1956. From 1958 to 1962, he worked as a research engineer at the Edgar C. Bain Laboratory of the US Steel Corporation. During this period, he participated in a summer school at the University of Oxford to learn thin foil transmission electron microscopy (TEM) in Peter Hirsch's group. After having visited Japan for a few months, he worked from 1963 to 1965 at the Max Planck Institute for Metals Research in Stuttgart, where his professorial dissertation (1964) tackled the effect of lattice defects on nucleation events in solids. In fact, his time in Stuttgart allowed him to apply new TEM methods to study particle-strengthened alloys.*

*This opened the way to the understanding and the design of superalloys that until today provide the basis for the development of modern aircraft engines. He spent some time at the Norwegian Central Institute for Applied Research in Oslo, before joining the University of Göttingen from 1965 to 1967.*

*He founded our Institute for Materials at the Ruhr University Bochum, where he was Chair for Materials Science from 1968 until 1995. His studies covered a wide range of topics in materials science. They included an improved understanding of mechanical properties of materials in terms of their defect microstructures and the development of the basic understanding of the atomic structure of grain boundaries in metals in the form of structural units. Still today, these findings constitute the basis for our understanding of the structures and properties of grain boundaries in metals.*

*The spectrum of research activities of Prof. Hornbogen at that time extended all the way from mechanical properties and grain boundaries of metals to his early TEM*

studiert, wo er in seiner Doktorarbeit 1956 erstmals den Formgedächtniseffekt an CuZn-Legierungen beschrieb. Er war vier Jahre Forschungsingenieur bei der US Steel Corporation (1958 – 1962), habilitierte 1964 am Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart mit einer Arbeit zum Einfluss von Gitterbaufehlern auf die Keimbildung in Festkörpern. Nach einem Auslandsaufenthalt in Norwegen am Zentralinstitut für Industrieforschung in Oslo war er von 1965 bis 1967 Professor für Metallphysik/Metallkunde an der Universität Göttingen. 1968 bis 1995 war er Inhaber des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft an der Ruhr-Universität Bochum. Erhard Hornbogen knüpfte ein dichtes Netz wissenschaftlicher Kontakte und machte die Ruhr-Universität Bochum im Bereich Werkstoffe international sichtbar.

*work on the molecular structures of semi-crystalline polymers, including the fundamental molecular processes governing their deformation. Indeed, it was this approach that turned out to be extremely fruitful for the modern molecular understanding of polymers. Erhard Hornbogen's scientific work not only attracted numerous internationally highly regarded colleagues but also motivated his students to develop new ideas of their own. He inspired many of them to pursue successful academic careers, and his international network enabled him to help them in joining international research groups, broaden their outlook and grow as scientists. As a result of this stimulating atmosphere, several of his students were later appointed to professorships at universities in Germany and abroad and many to leading positions in industry.*



**Bild 4.93:** Erhard Hornbogen mit Wegbegleitern beim Symposium anlässlich seines 80sten Geburtstags, Bochum 2010. **Fig. 4.93:** Erhard Hornbogen at the symposium for his 80th birthday with former students and colleagues, Bochum 2010. (v.l.n.r./LTR.: Karl-Heinz Zum Gahr (KIT), Stefanie Stanzl-Tschegg (BoKu Wien), Erhard Hornbogen, Heinrich Kreye (Helmut-Schmidt-Universität Hamburg), Herbert Gleiter (KIT), Gunther Eggeler).

Er war als Gastwissenschaftler / Gastprofessor am Battelle Institut (Columbus, Ohio), an der Ecole des Mines (Nancy), an der Tongji University (Shanghai), am IBM Almaden Lab. (San Jose) und an der University of Virginia (Charlottesville). Erhard Hornbogen ist für seine Arbeiten national und international vielfach ausgezeichnet worden. Er war Mitglied der Nordrheinwestfälischen Akademie der Wissenschaften und Künste und der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (ACATECH).

Er war Honorary Member des Japan Institute of Metals and Materials und erhielt die Ehrendoktorwürde der ungarischen Universität Miskolc. Zu den Preisen die ihm verliehen wurden gehören der Masing Preis und die Heyn Gedenkmünze der DGM, der Henry Clifton Sorby Award der International Metallographic Society (IMS) und der Robert Franklin Mehl Award der Minerals, Metals and Materials Society (TMS).

Dabei war Erhard Hornbogen als Hochschullehrer immer stark in der Lehre engagiert. Er hat den Studierenden des Maschinenbaus die Grundlagen der Werkstoffe vermittelt, wo jahrein jahraus Vorlesungen vor einigen hundert Hörern gehalten werden mussten. Fortgeschrittenen Studentinnen und Studenten aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften hat er die methodischen (Elektronenmikroskopie) und mechanistischen Aspekte (Festigkeit, Phasenumwandlungen, Legierungsentwicklung) unseres Faches nähergebracht.

Im Tagesgeschäft von Lehre und Forschung gab Erhard Hornbogen oft die Richtung vor, wobei er immer als kompetenter Ratgeber und guter Kollege beliebt war.

Auch als Emeritus war Erhard Hornbogen noch lange aktiv, sein Rat war immer gefragt und er verblüffte seine Gesprächspartner/innen häufig mit originellen

*In fact, year after year, he taught basic courses to hundreds of students of Mechanical Engineering and a few dozen more engineering and science students who specialized in Materials Science. He stayed in Bochum until 2010, when he moved to Potsdam to live close to the family of his son Martin. However, even during his later years in Potsdam, he kept in close contact with his former institute and with his friends and always followed new developments with enthusiasm.*

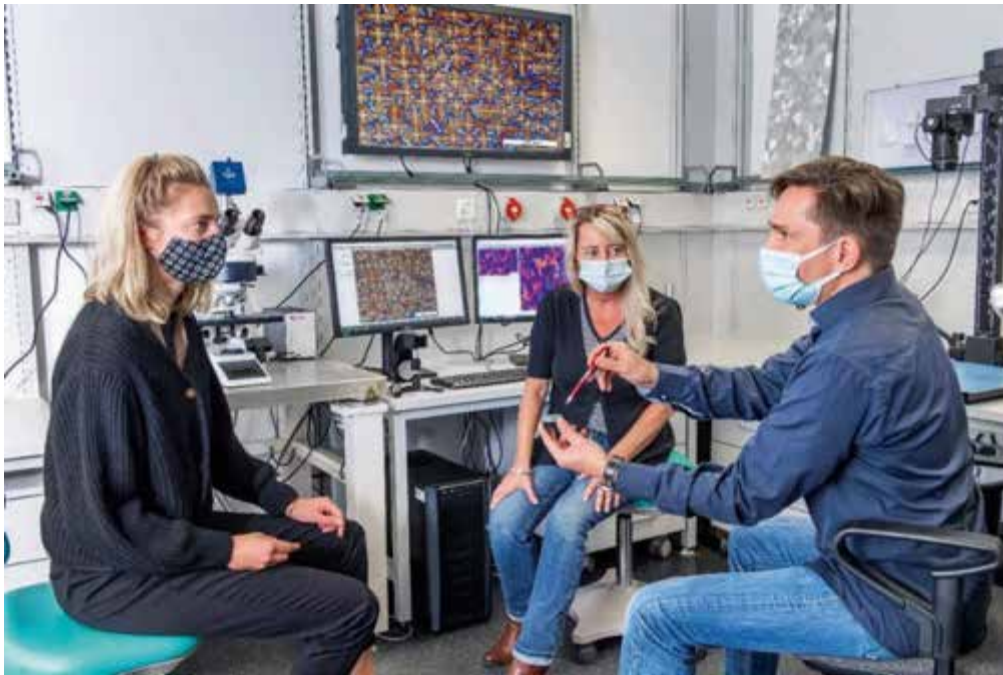
*In recent years, he developed a special interest in the evolution of microstructures. In fact, the idea that fascinated him was the concept that some of the fundamental principles of evolution of living systems and the basic principles governing the development of the microstructures of materials are closely related. Hence he suggested that an underlying fundamental principle might exist that controls both facets of reality and governs elementary nucleation and growth processes in biological systems as well as in engineering materials. Erhard Hornbogen spent prolonged research stays at the Battelle Institute (Columbus, Ohio, U.S.), the Ecole des Mines (Saint Etienne, France), the Tongji University (Shanghai, China), the IBM Almaden Lab. (San Jose, CA, U.S.) and at the University of Virginia (Charlottesville, North Carolina, U.S.). He authored a number of successful textbooks. He worked on martensitic transformations and shape memory alloys, light metals, particle strengthening, quasi crystals, effect of laser treatments on surface regions, dislocation reactions, fractals, recycling, wear and much more.*

*Erhard Hornbogen was an elected member of the North Rhine-Westphalia Academy of Sciences and of the German Academy of Technical Sciences (ACATECH). He was an active member of the scientific boards of ESOMAT and ICOMAT (the European and International conference series on martensitic transformations). He was the recipient of numerous awards and honors*



Gedanken. Ohne Erhard Hornbogen wäre unser Institut für Werkstoffe nicht das, was es heute ist. Wir verdanken ihm viel. Wir haben einen großen Werkstoffwissenschaftler verloren, der als Mensch und Wissenschaftler Maßstäbe gesetzt hat. Wir werden ihn in guter Erinnerung halten.

*from many major materials science communities (including the TMS Mehl Medal, the honorary membership of the Japanese Institute for Materials and an honorary doctorate from the University of Miskolc), and the visits to other countries to receive them often gave him the opportunity to dive into other cultures (he loved the fine arts and was interested in philosophy).*



**Bild 4.94:** Arbeiten in der Metallographie in Corona Zeiten. Clara Pohl, Kornelia Strieso und Jan Frenzel. **Fig. 4.94:** Working in Metallography during the coronavirus pandemic: Clara Pohl, Kornelia Strieso and Jan Frenzel.

**Lockdown:** Mitte März begann dann der erste Lockdown, eine vernünftige Reaktion der Bundesregierung und der Landesregierungen auf die Corona Pandemie. Die Empfehlungen wurden an unserer Ruhr-Universität mit Verantwortungsbewusstsein und Augenmaß umgesetzt. Trotzdem haben die Maßnahmen unser Privat- und Arbeitsleben stark verändert, es herrscht ein teilweise unheimlicher Zustand der bis heute anhält. So konnte zum Beispiel die Beerdigung von Herrn Hornbogen nur im kleinsten Familienkreise stattfinden. An der Ruhr-Universität begann nach der anfänglichen Schließung ein sorgfältig

**Lockdown:** *In the middle of March, we had the first lockdown, a measure of our federal and state governments to prevent the spreading of COVID-19. Our Ruhr-University handled the crisis well with a reasonable sense of proportion; all recommendations were followed with diligence and sense of responsibility. Nevertheless, the measures have changed our private and working lives, a weird and eery situation that still persists. The funeral of Erhard Hornbogen, for example, took place with only close family members. Our university was initially closed for a few weeks. Then work started again, all*

geregelter und überwachter begegnungs- armer Normalbetrieb. Heute, zu Ende des Berichtszeitraums haben wir uns an das Tragen von Masken und das Einhalten anderer Vorsichtsmaßnahmen (Hygiene, Abstand, wo möglich Homeoffice) ebenso gewöhnt wie an das Abhalten von Arbeits- besprechungen über das Internet. Wir arbeiten zwar weiter, wünschen uns aber wieder Normalbedingungen herbei. Es fehlt auch der wissenschaftliche Austausch mit Fachkollegen aus aller Welt auf den wichtigen internationalen Tagungen.

*operations were carefully monitored, and emphasis was placed on avoiding large gatherings of people. Today, towards the end of this reporting period, we have become used to wearing masks and following all the rules (hygiene measures, keeping a safe distance and, where possible, working from at home). We also got used to having meetings over the internet. We are looking forward to returning to normal conditions. We especially miss the contacts with scientific colleagues at international conferences.*



**Bild 4.95:** Bildschirm-Schnappschuss von der ersten Internet-Doktorprüfung unseres Lehrstuhls von Adeline Durand (unten rechts), 28. Mai 2020. **Fig. 4.95:** *Screen shot documenting the first Zoom Dr.-Ing. exam of our group (Adeline Durand, lower right, May 28, 2020). Vorsitzender/chairman (oben links/upper left): Prof. V. Scherer; Prüfer/examiners: Gunther Eggeler (oben rechts/upper right), Guillaume Laplanche (unten links/lower left).*

**Lehre in Corona-Zeiten:** Während der Zeit, in der Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie gelten, wurden Lehrveranstaltungen digital gehalten. Dies funktionierte einigermaßen, wenn auch

**Teaching in times of coronavirus:** *When measures were taken to fight the COVID-19 pandemic, many lectures were offered digitally over the internet. This worked out reasonably well, even though an internet*

eine digitale Vorlesung nicht den persönlichen Kontakt zwischen Lehrenden und Lernenden ersetzen kann. Was früher undenkbar schien, ist auch gängige Praxis geworden: Doktor-Prüfungen finden über das Internet statt. Die erste derartige Prüfung wurde von Adeline Durand erfolgreich absolviert, die im Anschluss an ihre Doktorarbeit an unserem Lehrstuhl als Postdoktorandin an die EPF in Lausanne ging.

**Clara Pohl und Meinert Hansen:** Unsere beiden Auszubildenden für das Fach Werkstoffprüfung hatten bereits 2019 ihre Prüfung mit sehr gutem Erfolg abgeschlossen. Beide haben im Anschluss an ihre Ausbildung ein Studium in Angriff genommen. Clara hat sich für Maschinenbau und Meinert für Chemie entschieden. In Teilzeit bleiben beide weiter als Techniker an unserem Lehrstuhl.

*presentation cannot fully replace personal contacts between teachers and students. What was inconceivable in former times became reality and has evolved into a standard procedure: PhD exams were held over the internet. Adeline Durand was the first to take this type of exam. After having successfully completed her PhD, Adeline took up a postdoctoral position at EPF Lausanne.*

*Clara Pohl and Meinert Hansen: Our apprentices of Materials Testing managed to complete their final exams in 2019 with excellent results. Both decided to take up academic studies at our university after their practical training. Clara opted for Mechanical Engineering, while Meinert started Chemistry. Both are remaining at our Chair to work as part-time technicians and support several of our research projects.*

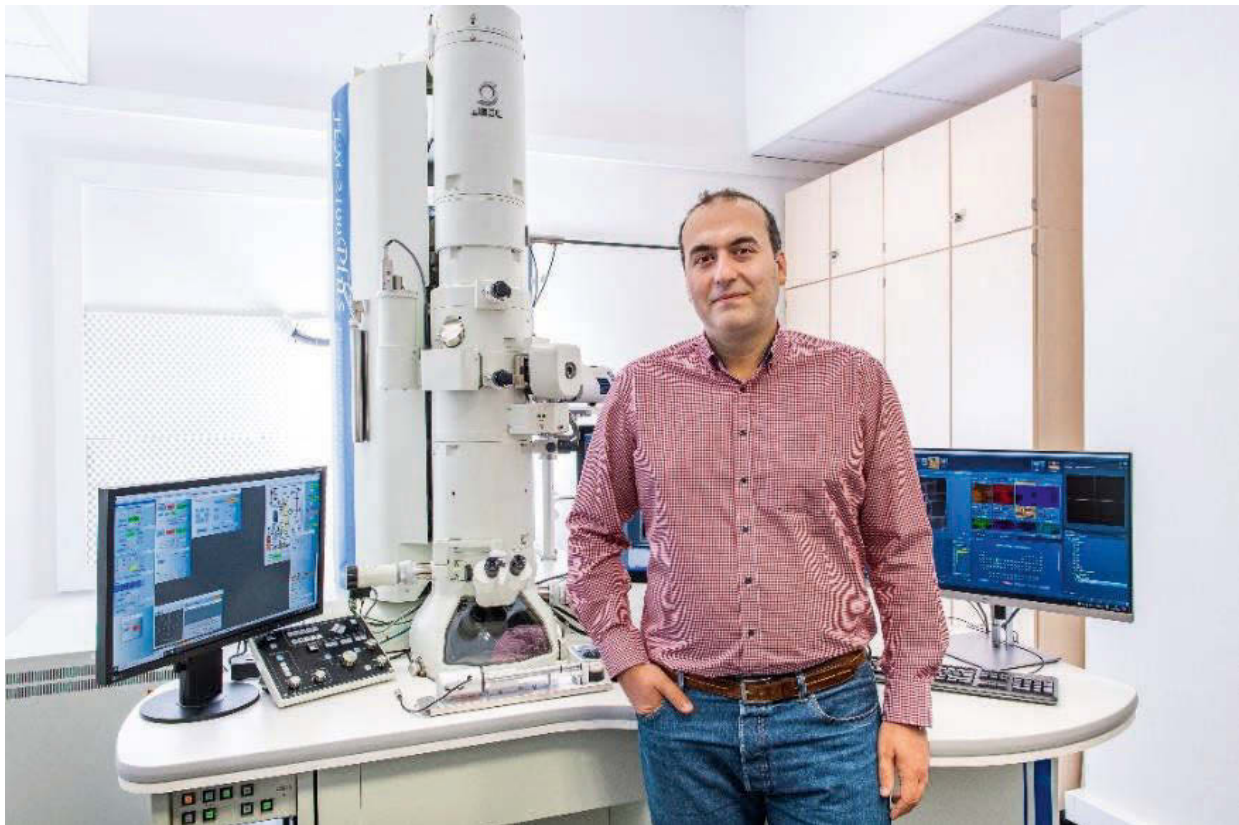


**Bild 4.96:** Meinert Hansen und Felicitas Scholz arbeiten am Bridgman Ofen.  
**Fig. 4.96:** Meinert Hansen and Felicitas Scholz work at our Bridgman furnace.



**Vertraute Mitarbeiter mit neuen Aufgaben:** Anfang 2020 stieß Alireza Basir Parsa wieder zu uns. Mit Eintreffen des neuen Jeol TEMs für Standardaufgaben und für die Ausbildung neuer User und mit dem Aufbau des neuen hochauflösenden Mikroskops im ZGH brauchten wir einen Wissenschaftler, der uns in allem was die Durchstrahlungselektronenmikroskopie betrifft unterstützt. Wir waren deshalb froh, dass wir Ali wiedergewinnen konnten. David Bürger hat nach Abschluss seiner Doktorarbeit auch offizielle die Leitung des Kriechlabors unseres Lehrstuhls übernommen, wo er die verschiedenen Testprogramme koordiniert. Beide arbeiten zusammen, wenn es darum geht, durch Kriechen gezielt eingestellte Verformungszustände im TEM zu untersuchen.

***Familiar members of our group with new tasks:** After having finished his PhD in our group, Alireza Basir Parsa left us for a short period. We are very happy to have him back on board. Ali is an experienced TEM scientist who will help with the two new instruments that were installed in 2020 and will support our TEM projects. He will pay special attention to the correlative TEM/APT work. After having finished his Dr.-Ing. thesis, David Bürger has officially taken over as the head of our creep laboratories. David is coordinating the research programs, which are presently running in the high-temperature deformation field. Both work together where specifically deformed material states are needed for TEM investigations.*



**Bild 4.97:** Seit Anfang 2020 unterstützt uns Alireza Basir Parsa wieder als Wissenschaftler in der Durchstrahlungselektronenmikroskopie. ***Fig. 4.97:** Since early 2020, Alireza Basir Parsa has joined us again as a scientist supporting our transmission electron microscopy research.*



**Bild 4.98:** Bereits Ende 2019 hatte David Bürger die Leitung unseres Kriechlabors übernommen, wo er die verschiedenen Forschungsprojekte koordiniert. Ein Schwerpunkt seiner Arbeiten liegt beim Testen einkristalliner Superlegierungen (Kriechen und Hochtemperatur-Zugversuche). *Fig. 4.98: At the end of 2019, David Bürger took over as head of our creep laboratories, where he is presently coordinating various research projects with a strong focus on creep and constant strain rate testing of single crystal superalloys.*

**Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM):** Wir haben sehr begrüßt, dass im Jahr 2020 Herr Dr. Stefan Klein die Geschäftsführung unserer DGM übernommen hat. Mit der DGM Mannschaft hat er den DGM Tag 2020 im September als große Internetveranstaltung organisiert, was den Umständen entsprechend sehr gut gelungen ist. Wir wünschen Herrn Dr. Klein alles Gute für die wichtige neue Aufgabe. Als zeichnungsberechtigter Stellvertreter des alten Geschäftsführers konnte er die für die Stelle notwendige Erfahrung sammeln. Mit Herrn Klein kehrt wieder ein offenerer und angenehmerer Stil in unsere DGM zurück. Sein Beginn als Geschäftsführer fällt in die Periode, in welcher Frank Mücklich (Uni Saarbrücken) und Oliver Schauerte (VW Forschung) die Vorstandschaft der DGM innehatten. In einer schweren Zeit haben diese beiden einen hervorragenden Job gemacht. Oliver Schauerte kommt übrigens ursprünglich von unserem Lehrstuhl

...

**German Society for Materials (DGM):** *We welcomed the fact that, in 2020, our DGM got a new Managing Director, Dr. Stefan Klein. With the DGM team, he organized the DGM Day 2020 in September as a large internet symposium that worked pretty well, considering the circumstances associated with the present pandemic. We wish Dr. Klein all the best for his new important task. As the assistant to the old Managing Director, he gained the experience that is needed to master this complex task. With Dr. Klein, a new, more open and more pleasant style returned. His start as Managing Director falls in the period in which Frank Mücklich (University of Saarbrücken) and Oliver Schauerte (VW Forschung) acted as DGM presidents. In difficult times, they did an excellent job, and we all appreciate it. In passing it should be noted that Oliver Schauerte hails from our group at the Ruhr-Universität Bochum ...*



**Bild 4.99:** Der neue Geschäftsführer der DGM Dr. Stefan Klein (Mitte), mit den beiden Vorständen Prof. Frank Mücklich (links) und Oliver Schauerte (rechts).

**Fig. 4.99:** *The new Managing Director of the German Materials Society DGM, Dr. Stefan Klein (middle), together with the two DGM presidents Prof. Frank Mücklich (left) and Oliver Schauerte (right).*

**Formgedächtnis-Polymere:** An unserem Lehrstuhl gibt es seit jeher auch Polymerforschung. Derzeit arbeiten wir mit Formgedächtnispolymeren. Diese zeigen nach Programmierung den Einwegeffekt, den man thermisch und chemisch auslösen. Das chemische Triggern funktioniert durch das Eindiffundieren kleiner Moleküle. Hier untersuchen wir, wie das Polymer Estane ETE 75 DT3 TPU, das wir nach Programmierungen Aceton, Ethanol und Wasser aussetzen. Bei Eindiffundieren der kleinen Moleküle wird die Komponente, die als molekularer Schalter wirkt geschwächt und die elastische Komponente zieht sich zusammen. Hakan Dumlu führt diese Arbeiten in einem Schwerpunktprogramm durch, nachdem Axel Marquardt seine Doktorarbeit auf diesem Gebiet Ende 2019 abgeschlossen hat. Im Jahr 2020 hat auch Frau Yucen Shen mit einer Doktorarbeit auf diesem Gebiet

**Shape memory polymers:** *In our group, we always had research projects on polymers. Inspired by our work on shape memory alloys, we have started to study shape memory polymers. They can be programmed and show a one-way effect that can be thermally and chemically triggered. Chemical triggering relies on the diffusion of solvents into the material. We study the polymer Estane ETE DT3 TPU that we program and then expose to acetone, ethanol and water. As the solvents diffuse in, the part of the material representing the molecular switch softens, and the elastic component contracts. Hakan Dumlu continues this work within a priority program funded by DFG, which was started by Axel Marquardt, who completed his Dr.-Ing. thesis at the end of 2020. In 2020, Mrs. Yucen Shen has also started to work on a doctoral thesis in this area. She is a student of IMPRS SurMat. In this*



begonnen. Sie ist Doktorandin der IMPRS SurMat. In diesem Projekt arbeiten wir eng mit Fatollah Varnik von ICAMS zusammen, der das Verhalten des Materials auf molekularer Grundlage modelliert. Es entstanden mehrere gemeinsame Veröffentlichungen.

*project, we closely collaborate with Fatollah Varnik from ICAMS, who models the structural and functional behavior of the material on a molecular basis. A number of joint publications resulted from this collaboration.*



**Bild 4.100:** Hakan Dumlu untersucht das chemische Triggern des Einwegeffekts in einem Formgedächtnis-Polymer Aktor.

*Fig. 4.100:* Hakan Dumlu studies the chemical triggering of the one-way effect in a shape memory polymer actuator.

**Scientists for Future (S4F):** Im Oktober 2019 riefen unsere wissenschaftlichen MitarbeiterInnen Larissa Heep, Oliver Horst, David Piorunek, Christian Reinhart, unser Gast-Forscher Christopher Zenk, unsere ehemalige studentische Hilfskraft Sven Maihöfer und Berenice Kramer, wissenschaftliche Mitarbeiterin am LWT, die Bochumer Regionalgruppe der „Scientists for Future“ (S4F) ins Leben. Zum Selbstverständnis dieser Allianz von WissenschaftlerInnen für eine nachhaltige Zukunft gehört es, sich in fundierter und verständlicher Form in die gesellschaftliche Debatte um Nachhaltigkeit und Zukunftssicherung einzubringen. Zum

*Scientists for Future (S4F):* In October 2019, our research assistants Larissa Heep, Oliver Horst, David Piorunek, Christian Reinhart, together with our guest researcher Christopher Zenk and our former student assistants Sven Maihöfer and Berenice Kramer, research associates at the LWT, founded the Bochum regional group of "Scientists for Future" (S4F). It is declared in the charta of this alliance of scientists for a sustainable future that they want to contribute to the social debate on sustainability and safeguarding the future in a fact-based and comprehensible way. The first meeting of S4F Bochum on November 6, 2019, was attended by about

ersten Treffen von S4F Bochum am 6. November 2019 kamen bereits etwa 60 WissenschaftlerInnen aus den Natur-, Geistes- und Ingenieurwissenschaften, welche sich für eine nachhaltigere Zukunft engagieren möchten. Unser Lehrstuhl unterstützt gerne die ehrenamtlichen Tätigkeiten seiner MitarbeiterInnen und bringt sich mit werkstoff- und ingenieurwissenschaftlichen Kenntnissen, beispielsweise zum Recycling und zum Kreislauf von Werkstoffen, in der Regionalgruppe ein. Für das WS 2020/21 initiierte und organisierte S4F Bochum zusammen mit dem Lehrstuhl für Sozialpsychologie von Prof. Dr. Wilhelm Hofmann, erstmals eine öffentliche Ringvorlesung mit dem Titel „Klimawandel und Nachhaltigkeit“ an der RUB, in der DozentInnen über die Klimakrise aus der Perspektive ihrer Fachbereiche (wie Klimatologie, Biologie, Makroökonomik, Psychologie, Ethik, Energiewirtschaft, Wissensanthropologie, Germanistik und Bauwesen) aufklären. Wir helfen durch die Bereitstellung von Multimedia Equipment für das Blended-Learning Konzept und einen Impulsbeitrag von David Piorunek zur Recyclingfähigkeit von Metallen der Seltenen Erden im Rahmen eines Vorlesungstermins zu Elektroschrott. Neben der Ringvorlesung und der Durchführung weiterer Projekte, wie z.B. eine Umfrage zur Nachhaltigkeit an Bochumer Hochschulen, die Analyse und Bewertung des Klimanotstands in Bochum oder die Beratung von Bürger-Initiativen oder Parteien, übernehmen unsere wissenschaftlichen MitarbeiterInnen Larissa Heep und David Piorunek einen großen Teil der Koordinierungsaufgaben innerhalb der ehrenamtlichen Gruppe. Hierzu zählen z. B. die Organisation und Moderation monatlicher Treffen von WissenschaftlerInnen unterschiedlichster Disziplinen, die Herausgabe eines Newsletters mit etwa 130 Followern und der regelmäßige Austausch mit der Universitätsverwaltung über die nachhaltige Entwicklung unserer Hochschule. Wir sehen diese Aktivitäten als wichtig an und unterstützen sie nach Kräften.

*60 scientists from the natural sciences, humanities and from engineering who want to commit themselves to a sustainable future. Our Chair fully supports the voluntary activities of the young researchers and assists in the scientific activities by contributing knowledge in materials science and engineering, e.g. on recycling and the life cycle of materials. For the 2020-21 winter semester, S4F Bochum together with the Chair of Social Psychology of Prof. Dr. Wilhelm Hofmann initiated and organized the first public lecture series on "Climate Change and Sustainability" at the RUB, in which lecturers explain the climate crisis from the scientific perspectives of their departments (such as Climatology, Biology, Macroeconomics, Psychology, Ethics, Energy Economics, Anthropology of Knowledge, German Studies and Civil Engineering). We support this interdisciplinary event by providing multimedia equipment for the blended learning concept and a stimulating contribution by David Piorunek on the recyclability of rare earth metals in the context of a lecture on electronic scrap. In addition to the lecture series and the implementation of further projects, such as a survey on sustainability at Bochum's universities; the analysis and evaluation of the climate emergency in Bochum; and the consultation of citizens' initiatives, non-profit organizations and parties, our research assistants Larissa Heep and David Piorunek are responsible for a large part of the coordination tasks within the volunteer group. This includes the organization and moderation of monthly meetings of 20-30 scientists from various disciplines, the administration and maintenance of a newsletter with about 130 followers (as of September 2020) and the regular exchange with representatives of the university administration about the sustainable development of the university. The LWW regards these activities as central to the further development of the RUB and the academic landscape and therefore fully supports its staff in these matters.*



**Bild 4.101:** SF4 Treffen an der RUB (Organisation: David Piorunek und Larissa Heep).  
**Fig. 4.101:** SF4 Meeting at RUB (Organization: David Piorunek and Larissa Heep).

**Bewerbung des neuen Bachelorstudiengangs Materialwissenschaft:** In den letzten beiden Jahren, haben wir uns intensiv um die Einrichtung eines neuen Studiengangs Materialwissenschaft bemüht, den wir als Institut für Werkstoffe gemeinsam mit dem ICAMS tragen. Im Jahr 2020 wurde unter Leitung von Alexander Hartmaier (ICAMS) ein Curriculum ausgearbeitet, der Bachelor Studiengang soll in 2021 akkreditiert werden. Im Herbst 2020 haben wir intensiv mit der Bewerbung des neuen Studiengangs begonnen. Erste Infos für die Öffentlichkeit erschienen im Newsletter unseres Materials Research Departments, das Gunther Eggeler gemeinsam mit Ralf Drautz (ICAMS) als Sprecher leiten und das von Pia Aleithe (ICAMS) und Axel Marquardt als Science Manager koordiniert wird (siehe MRD Newsletter 2020: <http://www.mrd.rub.de/wp-content/up->

**Promoting the new bachelor course in Materials Science:** In the last two years, we have worked on establishing a new bachelor course at our faculty of Mechanical Engineering: Materials Science. The curriculum will have new input from our Institute for Materials and the Interdisciplinary Center for Advanced Materials Simulation. In 2020, a commission led by Alexander Hartmaier (ICAMS) worked out details of the new bachelor course that is up for accreditation in 2021. In autumn of 2020, we started to promote this new career path. A first short description was given in the Newsletter of our Materials Research Department, represented by Gunther Eggeler and Ralf Drautz (ICAMS) as speakers and coordinated by Pia Aleithe (ICAMS) and Axel Marquardt as science managers (see MRD Newsletter: <http://www.mrd.rub.de/wp-content/up->



loads/2020/05/RZ1-MRD-Newsletter-12.pdf; auf der Internetseite des MRD/RUB). Außerdem wurde eine Anzeige in *Die Zeit* am 12. Dezember zum neuen Materialwissenschaft-Studiengang an der RUB geschaltet, mit einem Bild, das Larissa Heep am TEM zeigt.

loads/2020/05/RZ1-MRD-Newsletter-12.pdf. Moreover, an ad was placed in our national newspaper *Die Zeit* on December 12, where a photograph of Larissa Heep at the TEM augments the text.



**Bild 4.102:** Larissa Heep am Transmissionselektronenmikroskop. (Aus der Anzeige der „Die Zeit“ zum neuen Bachelor-Studiengang.)

*Fig. 4.102: Larissa Heep working at the transmission electron microscope (from the advertisement for attracting interest in our new bachelor program.)*

**Ausklang des Corona-Jahrs 2020:** Viele der Veranstaltungen, die wir sonst vor Ort begangen hätten oder zu denen wir gefahren wären, fielen wegen der Corona-Epidemie aus. Und wir können nicht so über sie berichten, wie wir das sonst getan hätten.

Es gab nur sehr wenige Tagungen, darunter die 3. Internationale Konferenz zu High Entropy Alloys (ICHEM 2020), die Uwe Glatzel vom 27. September bis 1. Oktober in Berlin unter Beachtung aller Corona-

**End of Corona Year 2020:** Many of the events we would have organized in Bochum or in which we would have participated were cancelled due to the COVID-19 pandemic. Therefore we have no nice photographs we would have presented under normal circumstances.

Only very few important scientific meetings were held as planned. One of them was the Third International Conference on High-Entropy Alloys (ICHEM 2020), organized by Uwe Glatzel in Berlin,

Regeln organisierte. Von uns nahmen Guillaume Laplanche und Alex Asabre teil, Alex hielt einen sehr schönen Vortrag. Die meisten anderen internationalen Tagungen (z. B. ICOMAT, CREEP), an denen wir sonst teilgenommen hätten, fielen aus bzw. wurden in die Zukunft verschoben. Anders als sonst hatten wir im Jahr 2020 auch kaum internationale Gastwissenschaftler zu besuch. Unter erschwerten Bedingungen gelang es, Dr. Jean-Philippe Couzinié vom Institut de Chimie er Matériaux Paris Est, mit seiner Familie im Oktober und November zu uns einzuladen. Jean-Philippe arbeitete mit Guillaume an Hochentropielegierungen.

Auch die Wechselwirkungswoche des SFB/TR 103 (9./10. Dezember) die Doktorprüfung von Oliver Horst (15. Dezember), und das (mittlerweile schon traditionelle) High Entropy Seminar unseres Lehrstuhls, das Guillaume Laplanche organisiert (14. bis 16. Dezember) wurden über das Internet organisiert. Und anstelle der beliebten Weihnachtsfeier unseres Instituts für Werkstoffe, die wir sonst mit den anderen Einheiten des Instituts gemeinsam feiern und wo wir immer gerne mit unseren Ehemaligen zusammentreffen, schrieb Alfred Ludwig, der geschäftsführende Direktor unseres Instituts, an alle Institutsmitglieder und Ehemaligen eine ausführliche Weihnachts-E-Mail (mit relevanten Anhängen).

Gegen Ende des Berichtszeitraums hat sich die Pandemiesituation leider nicht verbessert, so dass sich an der Begegnungsarmut zunächst nicht ändert. Es besteht aber Hoffnung: Impfstoffe sind in Sicht!

*complying with all health restrictions. From our group, Guillaume Laplanche and Alex Asabre participated in this meeting. Alex's presentation was well received. Most of the other meetings in which we normally participate were cancelled or postponed (e.g. ICOMAT and CREEP). Another consequence of the pandemic was that we had hardly any international visitors in 2020. It was difficult but we were finally able to organize a two-month visit for Dr. Jean-Philippe Couzinié from the Institute de Chimie et des Matériaux Paris Est. He came in October/November with his family and worked with Guillaume Laplanche on high-entropy alloys.*

*Activities like the Interaction Week of SFB/TR 103 (December 9-10), the Dr.-Ing. exam of Oliver Horst (December 15) and our high-entropy seminar, which Guillaume Laplanche managed (December 14-16) and which has become a tradition, were organized over the internet, as Zoom events. Instead of the "end-of-the-year" party (formerly known as Christmas party) we celebrate together with the other units from our institute and where we like to meet our alumni, Alfred Ludwig, the Managing Director of our Institute for Materials, wrote a Christmas e-mail to all members of the institute and to our alumni (with some relevant attachments providing information on what has happened in 2020).*

*Towards the end of the reporting period, the situation regarding the pandemic has not improved, so that we will have to live with restrictions for a while. However, there is light at the end of the tunnel: We hear that efficient vaccines have been developed!*

**Denis Stratmann** (\*20.07.1980 - †28.12.2020): Mit Bestürzung haben wir in der letzten Woche des Jahres 2020 zur Kenntnis nehmen müssen, dass Denis Stratmann, unser IT-Techniker und Systemadministrator, uns völlig unerwartet und viel zu früh verlassen hat. Er lässt uns traurig und sprachlos zurück. Wir verlieren einen wichtigen Mitarbeiter und geschätzten Kollegen, der immer positiv, hilfsbereit und freundlich war. Wir werden sein Andenken in Ehren halten werden.

***Denis Stratmann** (\*July 20, 1980 - †December 28, 2020): In the last week of 2020, we learned about the totally unexpected and far-too-early passing away of Denis Stratmann, our IT technician and system administrator. With Denis, we have lost an important member of our team and a colleague who was widely appreciated for his technical prowess, positive attitude, helpfulness and kindness. All this made working with him enjoyable. We are deeply grieved and will always remember him.*



**Bild 4.103:** Denis (Mitte), Schlagzeuger unserer Institutsband 2016.

***Fig. 4.103:** Denis (center), drummer of the band of the Institute for Materials 2016.*



## 5. Forschung

### 5.1 Übersicht

**Mikrostruktur von Werkstoffen.** Seit seiner Gründung befasst sich der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft mit der quantitativen, skalenübergreifenden Analyse der Mikrostrukturen von Werkstoffen. Die Elemente der Mikrostruktur (Punktdefekte, Versetzungen, Grenzflächen, ...) bestimmen die Eigenschaften von Werkstoffen. Wir befassen uns mit der Entstehung von Mikrostrukturen bei der Herstellung von Werkstoffen. Es muss geklärt werden, warum und wie wichtige Werkstoffeigenschaften durch die Mikrostruktur beeinflusst werden. Und wir wollen beschreiben, wie sich die Mikrostrukturen von Werkstoffen bei Belastung im Experiment und im technischen Einsatz verändern. Mit unseren Forschungsarbeiten wollen wir dazu beitragen, dass wesentliche kritische Elementarprozesse wahrgenommen und verstanden werden, und dass bei der Entwicklung neuer Werkstoffe auch Mikrostrukturen bestmöglich eingestellt werden.

**Fünf Forschungsfelder.** Am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft gibt es fünf übergreifende Themengebiete, denen sich unsere Arbeiten zuordnen lassen. Diese werden in diesem Kapitel beschrieben.

**Fokussierte Forschungsgruppen.** Es gibt fokussierte Forschungsgruppen, die an spezifischen Themen arbeiten. Diese werden wir nach den Forschungsfeldern beschreiben. Einige Gruppen, die in der Vergangenheit aktiv waren, wurden nach Weggang der Gruppenleiter/innen nicht fortgeführt (Leichtmetalle – Birgit Skrotzki, Zwillinge – Martin Wagner, Werkstoffe der Medizintechnik – Matthias Frotscher, Thermodynamische Werkstoffmodellierung – Oliver Kastner). Über diese Gruppen hatten wir in der Vergangenheit berichtet. Heute gibt es fokussierte Forschungsgruppen, die schon seit lan-

## 5. Research

### 5.1 Overview

**Microstructure of materials.** *The microstructure of materials is paramount to all the research conducted at our Chair for Materials Science and Engineering. The elements of microstructure (point defects, dislocations, interfaces, particles, etc.) determine the properties of materials. We investigate the formation of microstructures during materials synthesis and processing. It is essential to understand how microstructures govern the functional and structural properties of materials. We explore how the microstructures of engineering materials evolve during thermal and mechanical exposure in the laboratory and during service. Our research aims at identifying elementary processes, which govern material properties on the macro-scale. In order to contribute to a better understanding of microstructure/property relations and to contribute to the development of new materials, we perform scale bridging microstructural research.*

**Five research fields.** *Most of our research can be attributed to five overarching research fields. We will describe these five research fields in this section.*

**Focused research groups.** *Our research projects are associated with specific research groups, which we will describe in the second part of this section. Some of our focused research groups that were active in the past, were discontinued when their group leaders moved on to new positions (Light Metals – Birgit Skrotzki, Twinning – Martin Wagner, Medical Materials – Matthias Frotscher, Thermodynamic Materials Modeling – Oliver Kastner). We have reported about the activities of these groups in the past. Today, there are established groups that have existed for quite some time (Electron*

gem existieren und nach wie vor aktiv sind (Elektronenmikroskopie – Christoph Somsen, Polymere Werkstoffe – Klaus Neuking). Und es haben sich im Berichtszeitraum neue fokussierte Forschungsgruppen etabliert, die wir hier kurz beschreiben werden.

## 5.2 Fünf Forschungsfelder

Am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft wird schwerpunktmäßig in fünf Bereichen gearbeitet: Strukturwerkstoffe, Funktionswerkstoffe, Reaktionen in und an festen Stoffen, Mikrostrukturelle und mechanische Charakterisierung und Modellierung. Wir wollen diese Bereiche hier kurz vorstellen und an jeweils fünf Beispielen aufzeigen, welche Art von Ergebnissen im Berichtszeitraum in diesen fünf Bereichen erarbeitet wurden.

**Strukturwerkstoffe.** In der Gruppe Strukturwerkstoffe wird ein Schwerpunkt bei den Beziehungen zwischen Mikrostruktur und Festigkeit bei hoher Temperatur gesetzt. Besondere Aufmerksamkeit wird der Versetzungsdynamik bei Kriechvorgängen und mikrostrukturellen Erweichungs- und Schädigungsvorgängen gewidmet. Der Berichtszeitraum wurde stark durch den SFB/TR 103 geprägt, in welchem es um einkristalline Superlegierungen geht. Außerdem wurden im Berichtszeitraum Elementarprozesse des Hochtemperaturverschleißes untersucht. Oft kommen präzise, zum Teil neu entwickelte, mechanische Testverfahren zum Einsatz. Definiert vorbelastete Proben werden dann mikroskopisch untersucht.

Fünf Beispiele für Veröffentlichungen aus dem Bereich Strukturwerkstoffe:

C. Rynio, H. Hattendorf, J. Klöwer, G. Eggeler, The evolution of tribolayers during high-temperature sliding wear, *Wear*, 315 (2014) pp. 1-10

X. Wu, P. Wollgramm, C. Somsen, A. Dlouhy, A. Kostka, G. Eggeler, Double minimum creep of single crystal Ni-base superalloys, *Acta Mater.*, 112 (2016) pp. 242-260

*Microscopy – Christoph Somsen, Polymer Materials – Klaus Neuking). New groups were established in the reporting period. We will describe the active research groups at the end of this section.*

## 5.2 Five Research Fields

*We perform research in five overarching research fields: structural materials, functional materials, reactions in and at solids, scale bridging microstructural and mechanical characterization and modeling. In this section, we will briefly introduce these fields of work and give a few examples of the type of work we have performed and of the type of results we have obtained and published in the reporting period.*

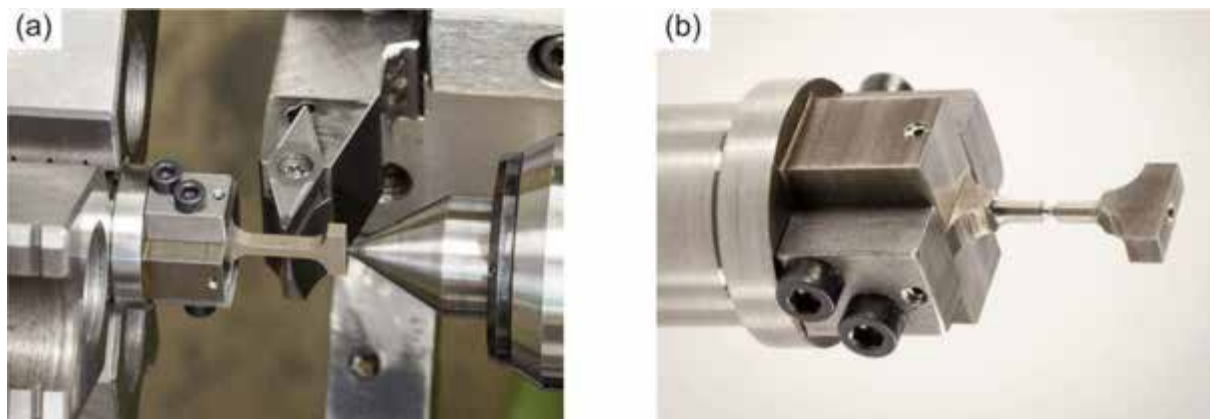
***Structural Materials.*** *In the structural materials group, emphasis is placed on the relationships between processing, microstructure and mechanical properties at high temperatures. Particular attention is paid to the role of dislocations during creep and to microstructural softening and degradation processes. Research in the reporting period was strongly shaped by the SFB/TR 103, which focuses on single crystal Ni- and Co-based superalloys. Moreover, the field of wear at elevated temperatures was taken up as a new research subject. A key element of research in the structural materials group are advanced, newly developed mechanical experiments in combination with quantitative microstructural analysis.*

*Examples of publications from the structural materials field:*

G. Eggeler, N. Wiczorek, F. Fox, S. Berglund, D. Bürger, A. Dlouhy, P. Wollgramm, K. Neuking, J. Schreuer, L.A. Jácome, S. Gao, A. Hartmaier, G. Laplanche, On shear testing of single crystal Ni-base superalloys, *Met. Mat. Trans. A*, 49 (2018) pp. 3951-3962

L. Cao, P. Wollgramm, D. Bürger, A. Kostka, G. Cailletaud, G. Eggeler, How evolving multi-axial stress states affect the kinetics of rafting during creep of single crystal Ni-base superalloys, *Acta Mater.*, 158 (2018) pp. 381-392

A. Matz, B.S. Matz, A.B. Parsa, N. Jost, G. Eggeler, On the effects of microstructure on the mechanical properties of open-pore Al-11Zn foams, *Mat. Sci. Eng. A*, 759 (2019) pp. 552-564



**Bild 5.1:** Herstellung einer Mini-Kriechprobe mit Rundkerbe (Dr.-Arbeit Lijie Cao).

**Fig. 5.1:** *Machining a miniature circular notched creep specimen (Dr.-Ing. thesis Lijie Cao).*

**Funktionswerkstoffe.** Unsere Gruppe Funktionswerkstoffe befasst sich mit metallischen Formgedächtnislegierungen und mit Formgedächtnispolymeren. Bei den Formgedächtnislegierungen (FGL) bauen wir auf den Arbeiten auf, die im SFB 459 (2000-2011) geleistet wurden. Im Berichtszeitraum konnten wir an einer DFG-Forschergruppen zu Hochtemperaturformgedächtnislegierungen teilnehmen. Außerdem erhielten wir DFG-Förderung im Rahmen von zwei DFG geförderten Schwerpunktprogrammen (Ferroic Cooling und High Entropy Alloys). Im Ferroic Cooling-Programm haben wir an der Entwicklung eines FGL-Kühlschranks mitgearbeitet.

Unsere Arbeiten zu Formgedächtnispolymeren waren in ein DFG gefördertes Schwerpunktprogramm zu thermischen-chemischen-mechanischen Wechselwir-

**Functional Materials.** Our functional materials group works on metallic shape memory alloys (SMA) and shape memory polymers. The SMA research builds on the results obtained in the collaborative research center SFB 459 (2000-2011). In the reporting period, our Chair had the possibility to participate in a research group on high-temperature SMAs funded by our national grant agency DFG. With our SMA activities, we also participated in two DFG-funded priority programs, Ferroic Cooling (where we considered material aspects associated with a SMA fridge) and high-entropy alloys (where we studied SMAs with complex compositions).

The shape memory polymer work was embedded into another DFG-funded priority program, which tackled thermal-mechanical-chemical interactions. There



kungen eingebettet. Enge Zusammenarbeit besteht mit der Firma Ingpuls, die in den letzten Jahren sehr erfolgreich war. Hier gibt es eine enge Zusammenarbeit im F&E-Bereich.

*is a close collaboration between our group and our spin-off company Ingpuls that has developed into a successful shape memory company and enjoys a high profile in Germany.*

Fünf Beispiele für Veröffentlichungen aus dem Bereich Funktionswerkstoffe:

*Examples of five publications from the shape memory technology field:*

J. Pfetzinger-Micklich, R. Ghisleni, T. Simon, Ch. Somsen, J. Michler, G. Eggeler, Orientation dependence of stress-induced phase transformation and dislocation plasticity in NiTi shape memory alloys on the micro scale, *Mat. Sci. Eng. A*, 538 (2012) pp. 265-271

T. Birk, S. Biswas, J. Frenzel, G. Eggeler, Twinning-induced elasticity in NiTi shape memory alloys, *Shap. Mem. Superelasticity*, 2 (2016) pp. 145-159

A. Marquard, S. Mogharebi, K. Neuking, F. Varnik, G. Eggeler, Diffusion of small molecules in a shape memory polymer, *J. Mat. Sci.*, 51 (2016) pp. 9792-9804

J. Frenzel, G. Eggeler, E. Quandt, S. Seelecke, M. Kohl, High-performance elastocaloric materials for the engineering of bulk- and micro-cooling devices, *MRS Bulletin*, 43 (2018) pp. 280-284

D. Langenkämper, A. Paulsen, C. Somsen, J. Frenzel, G. Eggeler, On the oxidation behavior and its influence on the martensitic transformation of Ti-Ta high temperature shape memory alloys, *Shap. Mem. Superelasticity*, 5 (2019) pp. 63-72

### **Reaktionen in und an festen Stoffen.**

Die Gruppe Reaktionen in und an festen Stoffen des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft beschäftigt sich mit thermodynamischen und kinetischen Untersuchungen zu den diffusionskontrollierten mikrostrukturellen Vorgängen bei der Herstellung und beim Einsatz von Werkstoffen. Es geht z. B. um Rekristallisationsvorgänge, um Ausscheidungsvorgänge bei der Bildung neuer Phasen in übersättigten Mischkristallen, um die Vergrößerung von Teilchen bei hohen Temperaturen oder um die Reaktionen zwischen Festkörpern und Schmelzen.

*Reactions in and at Solids. The research group focusing on reactions in and at solids deals with thermodynamic and kinetic studies of diffusion-controlled microstructural processes during the processing and use of engineering materials. This typically involves the investigation of recrystallization, precipitation from supersaturated solid solutions, the coarsening of particles at high temperatures or reactions between solids and melts.*

Beispiele für fünf Arbeiten aus der Forschungsgruppe:

*Given below are examples of five pieces of work produced by the research group on reactions in and at solids during the reporting period:*

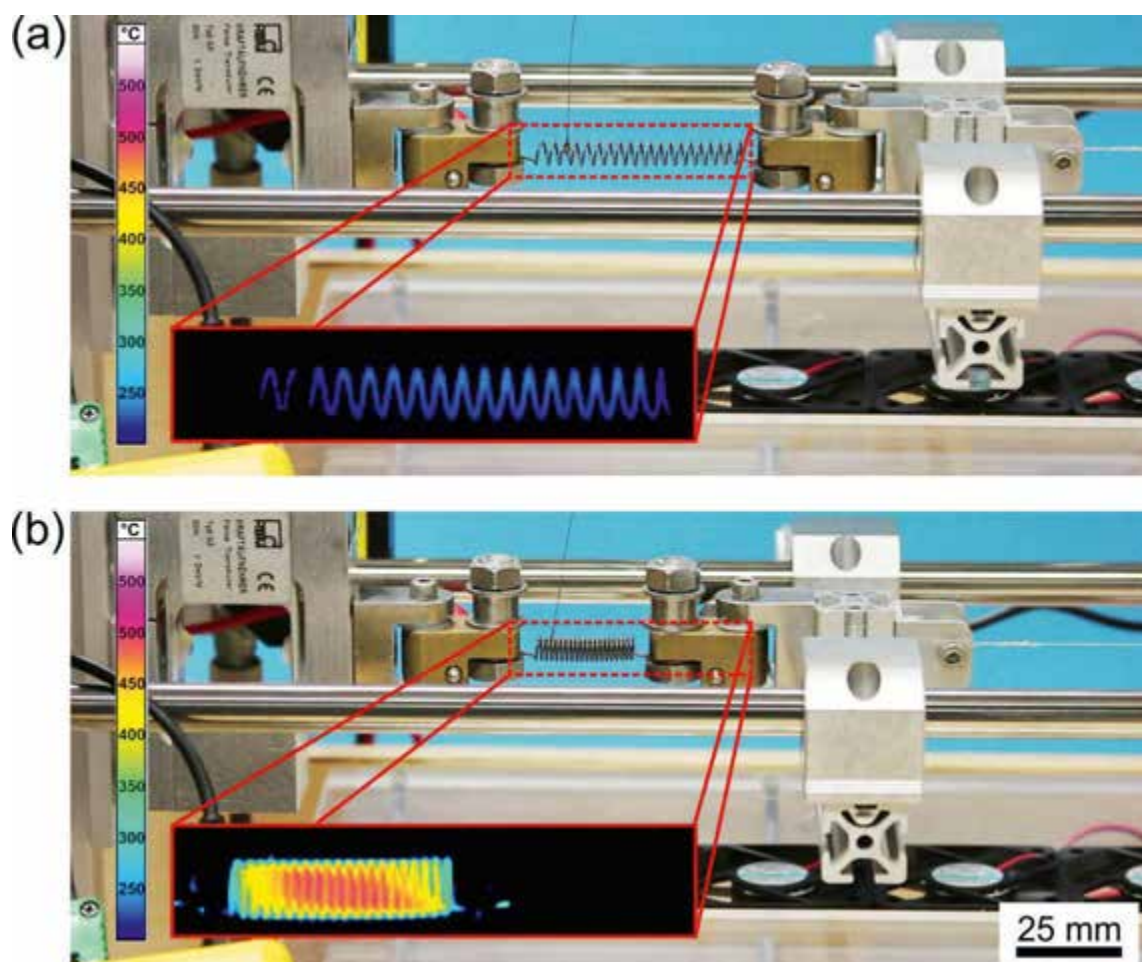
T. Depka, C. Somsen, G. Eggeler, D. Mukherji, J. Rösler, Sigma phase evolution in Co-Re-Cr-based alloys at 1100°C, *Intermetallics*, 48 (2014) pp. 54-61

M.I. Isik, A. Kostka, Y.A. Yardley, K.G. Pradeep, M.J. Duarte, P.P. Choi, D. Raabe, G. Eggeler, The nucleation of Mo-rich Laves phase particles adjacent to  $M_{23}C_6$  micro grain boundary carbides in 12% Cr tempered martensite ferritic steels, *Acta Mater.*, 90 (2015) pp. 94-105

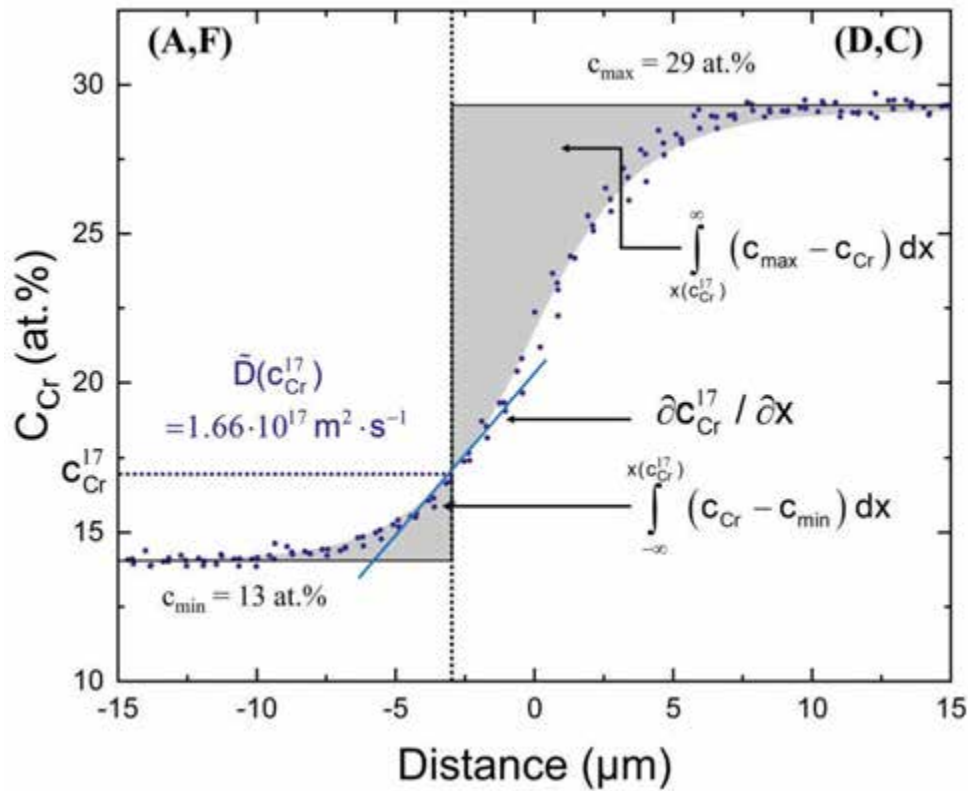
F. Otto, A. Dlouhy, K.G. Pradeep, M. Kubenova, D. Raabe, G. Eggeler, E.P. George, Decomposition of the single-phase high-entropy alloy CrMnFeCoNi after prolonged anneals at intermediate temperatures, *Acta Mater.*, 112 (2016) pp. 40-52

H.C. Wang, C. Somsen, Y.J. Li, S.G. Fries, E. Detemple, G. Eggeler, Effect of Nb on improving the impact toughness of low-alloyed steels, *J. Mat. Sci.*, 54 (2019) pp. 7307-7321

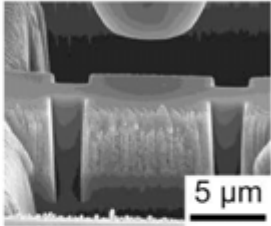
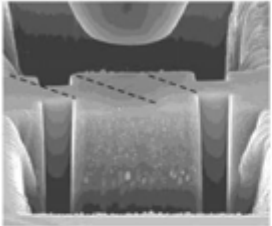
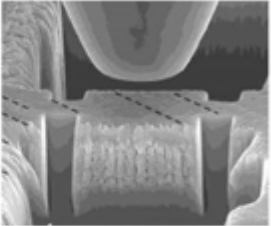
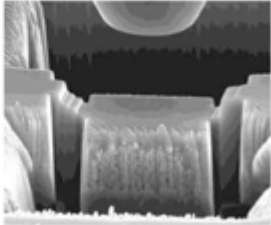
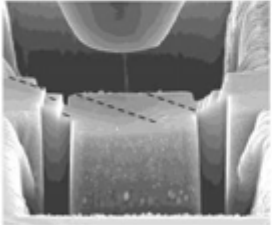
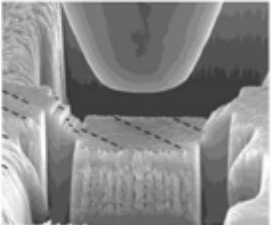
H.C. Wang, X. Zhang, D.S. Yan, C. Somsen, G. Eggeler, Interface dominated cooperative nanoprecipitation in interstitial alloys, *Nature Communications*, 9 (2018) article number: 4017



**Bild 5.2:** Testen der funktionellen Ermüdung eines TiTa-Formgedächtnisaktors. Dr.-Arbeit Alexander Paulsen. **Fig. 5.2:** Functional fatigue testing of a TiTa shape memory alloy. Dr.-Ing. thesis Alexander Paulsen.

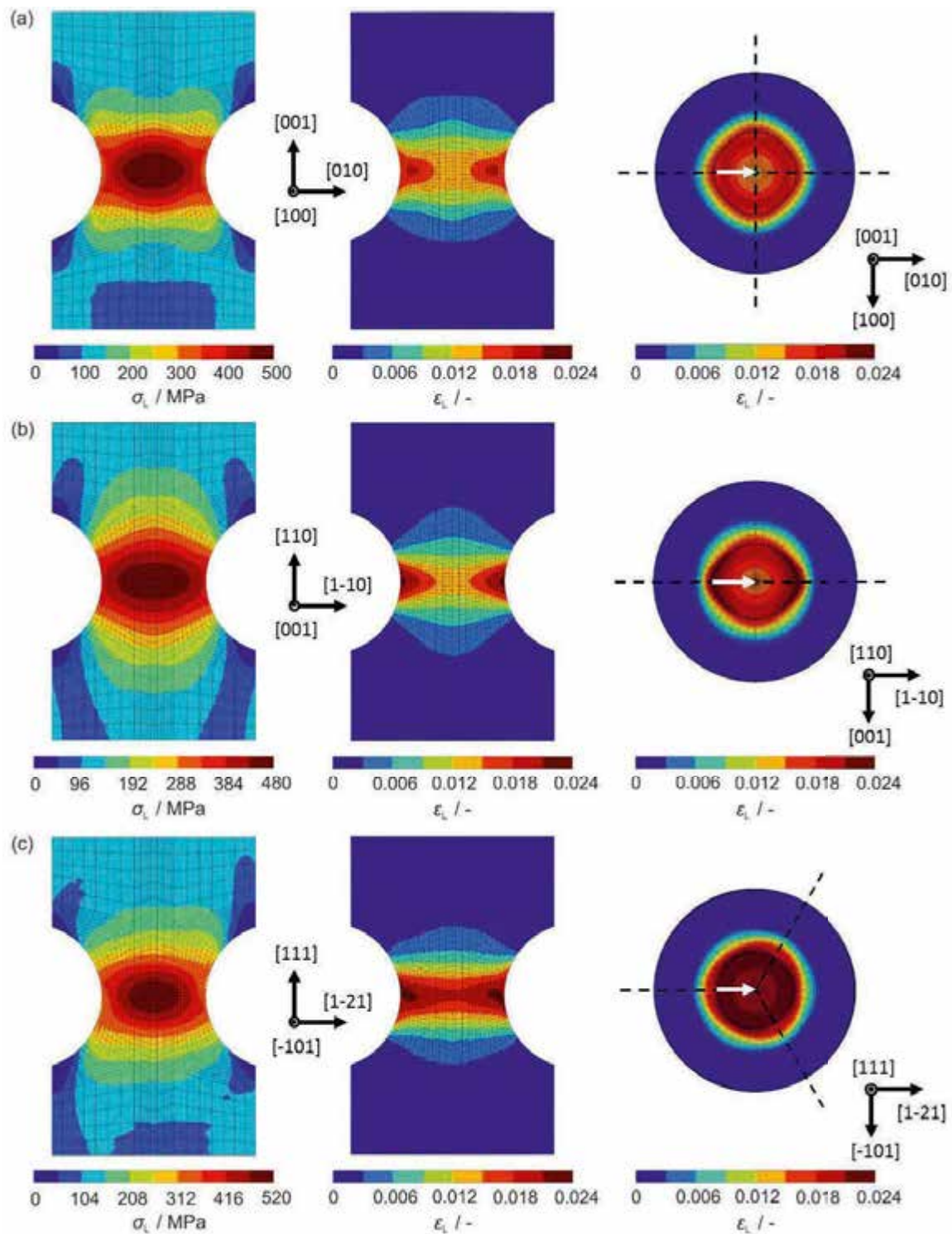


**Bild 5.3:** Analyse von Konzentrations-Orts Profilen nach Interdiffusionsexperimenten in einem Hochentropie-Diffusionspaar. Dr.-Arbeit Adeline Durand. **Fig. 5.3:** Analyzing concentration profiles after interdiffusion experiments in a high-entropy diffusion couple. Dr.-Ing. thesis Adeline Durand.

tensile pre-deformation	0%	6.5%	20%
before shear deformation			
after shear deformation			
final shear deformation	90%	83%	115%

**Bild 5.4:** In-situ REM-Mikroscherversuche an vorverformten Cu-Einkristallen (Dr.-Arbeit Nikolai Wieczorek). **Fig. 5.4:** In-situ SEM micro shear experiments on pre-deformed Cu single crystals (Dr.-Ing. thesis Nikolai Wieczorek).





**Bild 5.5:** FEM-Ergebnisse zur Spannungs- und Dehnungsumverteilung beim Kriechen von Einkristallproben mit Rundkerben. Dr.-Arbeit Lijie Cao. **Fig. 5.5:** FEM results showing stress and strain redistributions after creep of circular notched single crystal superalloy specimens. Dr.-Ing. thesis Lijie Cao.

**Mechanische und mikrostrukturelle Charakterisierung.** In dieser Gruppe fassen wir diejenigen Arbeiten zusammen, die einen starken methodischen Akzent

**Mechanical and Microstructural Characterization.** In this group, we consolidate those pieces of work that exhibit a strong methodological element. This is

setzen. Hierher gehören alle aufwändigeren mikroskopischen und mechanischen Untersuchungen, in denen von Standardverfahren abgewichen wird und wo neue Wege beschritten werden. Eine wichtige Rolle spielen dabei quantitative metallographische Untersuchungen in Verbindung mit der Licht-, Raster- und vor allem der Transmissionselektronenmikroskopie. Dazu gehören auch Arbeiten, bei denen neue mechanische Untersuchungsverfahren entwickelt und validiert werden.

Beispiele für Arbeiten aus der Forschungsgruppe Mechanische und mikrostrukturelle Charakterisierung im Berichtszeitraum:

L.A. Jácome, G. Eggeler, A. Dlouhý, Advanced scanning transmission electron microscopy of structural and functional engineering materials, *Ultramicroscopy*, 122 (2012) pp.48-59

N. Wiczorek, G. Laplanche, J.-K. Heyer, A.B. Parsa, J. Pfetzinger-Micklich, G. Eggeler, Assessment of strain hardening in copper single crystals using in situ SEM microshear experiments, *Acta Mater.*, 113 (2016) pp. 320-334

J. Burow, J. Frenzel, C. Somsen, E. Prokofiev, R. Valiev, G. Eggeler, Grain nucleation and growth in deformed NiTi shape memory alloys: An in situ TEM study, *Shap. Mem. Super elasticity*, 3 (2017) pp. 347-360

L. Cao, D. Bürger, P. Wollgramm, K. Neuking, G. Eggeler, Testing of Ni-base superalloy single crystals with circular notched miniature tensile creep specimens, *Mat. Sci. Eng. A*, 712 (2018) pp. 223-231

P. Thome, S. Medghalchi, J. Frenzel, J. Schreuer, P. Thome, Ni-base superalloy single crystal (SX) mosaicity characterized by the rotation vector base line electron back scatter diffraction (RVB-EBSD) Method, *Ultramicroscopy* 206 (2019) 112817

**Modellierung.** Hierzu gehören im mechanischen Teil die Finite Elemente Modellierung und die Simulation einfacher Versetzungsreaktionen. Im mikrostrukturellen Bereich können begleitende Berechnungen zur Elektronenmikroskopie und ganz allgemein zur quantitativen Auswertung von Mikrostrukturen durchgeführt werden. Im Berichtszeitraum haben wir auch begonnen, uns mit thermodynamischen und kinetischen Rechnungen zu Strukturbildungsprozessen zu befassen. Zur skalenübergreifenden Model-

*where all the sophisticated microscopic and mechanical investigations are concentrated, where deviation from standard procedures is a must and where new ground is broken. Quantitative metallographic examinations play an important part here, in conjunction with light, scanning and especially transmission electron microscopy. This also includes work during the course of which new mechanical investigation procedures are developed and validated.*

*Below, we list five examples of publications from the mechanical and microstructural characterization group that were published in the reporting period:*

**Modeling.** *In our research on mechanical properties, we use the finite-element method for the design of special specimens and for the calculations of stress states in specimens with cracks and notches. We also perform 2D discrete dislocation modeling to understand dislocation reactions we see in the TEM. In the reporting period, we have also started to perform thermodynamic and kinetic simulations to understand driving forces and the kinetics of evolution of microstructure. In the modelling field, we collaborate*

lierung wurde intensiv mit den Kollegen vom Interdisciplinary Center of Advanced Materials Simulation (ICAMS) und vom Max-Planck-Institut für Eisenforschung (MPIE) zusammengearbeitet.

Beispiele für Output aus diesem Bereich:

*closely with our colleagues from the interdisciplinary Center of Advanced Materials Simulations (ICAMS) and from the Max-Planck-Institut für Eisenforschung.*

*Examples of five publications from the modeling field:*

M. Hafez Haghghat, G. Eggeler, D. Raabe, Effect of climb on dislocation mechanisms and creep rates in  $\gamma'$ -strengthened Ni base super alloy single crystals: A discrete dislocation dynamics study, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 3709-3723

V. Yardley, I. Povstugar, P.P. Choi, D. Raabe, A.B. Parsa, A. Kostka, C. Somsen, A. Dlouhy, K. Neuking, E. George, G. Eggeler, On phase equilibria and the appearance of nanoparticles in the microstructure of single crystal Ni-base superalloys, *Advanced Engineering Materials*, 18 (2016) pp. 1556-1567

A. Ferrari, A. Paulsen, J. Frenzel, J. Rogal, G. Eggeler, R. Drautz, Unusual composition dependence of transformation temperatures in Ti-Ta-X shape memory alloys, *Phys. Rev. Materials*, 2 (2018) article number: 073609

X. Wu, A. Dlouhy, Y.M. Eggeler, E. Spiecker, A. Kostka, C. Somsen, G. Eggeler, On the nucleation of planar faults during low temperature and high stress creep of single crystal Ni-base superalloy, *Acta Mater.*, 144 (2018) pp. 642-655

S. Gao, P. Wollgramm, G. Eggeler, A. Ma, J. Schreuer, A. Hartmaier, A phenomenological creep model for Ni-base single crystal superalloys, *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.*, 26 (2018) article number: 055001 (18 pp)

### 5.3 Forschungsgruppen

**Elektronenmikroskopie.** Die analytische Elektronenmikroskopie, zu der wir die Transmissions- und die Rasterelektronenmikroskopie zählen, ist die zentrale Charakterisierungsmethode am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft. Die Schlüsseleigenschaften aller strukturellen und funktionellen Ingenieurwerkstoffe werden durch Mikrostrukturen bestimmt, deren charakteristische Längenskalen oft im nm-Bereich liegen. Dies gilt für Ni-Basis-Superlegierungen ebenso wie für moderne Stähle, für Formgedächtnislegierungen und Hochentropielegierungen. Wesentliche Details der Mikrostruktur lassen sich nur mit Hilfe der Durchstrahlungselektronenmikroskope quantitativ erfassen. Orientierungsverteilungen in feinkristalli-

### 5.3 Research Groups

**Electron microscopy.** We use the term analytical electron microscopy for our advanced characterization work in the fields of scanning and transmission electron microscopy. These two characterization techniques are central to all our research activities. The key properties of all structural and functional engineering materials are governed by microstructures, with characteristic length scales in the nm range. This applies to many of the systems we investigate, such as single crystal superalloys, advanced steels, shape memory alloys and high-entropy alloys. The key features of these fine microstructures can only be revealed by transmission electron microscopy. The spatial orientations of fine crystals in polycrystalline structures



nen Systemen verlangen nach hochauflösender orientierungsabbildender Rasterelektronenmikroskopie. Am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft kombinieren wir dabei das Wissen um die Thermodynamik, Kinetik, um die mechanischen Eigenschaften und um die Elemente der Mikrostrukturen von Werkstoffen mit fortgeschrittenen elektronenmikroskopischen Methoden. Diese sind aufwändig, sowohl was die Kosten der Geräte als auch was den Betreuungsaufwand betrifft. Aber nur diese Methoden erlauben, in der modernen Materialwissenschaft an vorderer Front zu forschen.

Die Methodik der Elektronenmikroskopie benötigt eine Infrastruktur, die gestattet, qualitativ hochwertige Proben herzustellen. Eine solche Infrastruktur ist am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft vorhanden und kann von allen Mitgliedern des Instituts für Werkstoffe und von anderen Materialwissenschaftlern der RUB genutzt werden. Viele unserer Forschungsarbeiten lassen sich nicht einfach in einem Multiuser-Zentrum erledigen. Wie brauchen den direkten langfristigen Zugriff auf eigene Geräte. Insbesondere müssen wir auch neue User in die komplexen Geräte einführen können. Die Elektronenmikroskopie muss in der Lehre verankert sein. In der Gruppe Elektronenmikroskopie werden viele Grundlagen erarbeitet, die dann in anderen Gruppen, auch außerhalb unseres Lehrstuhls, genutzt werden.

Am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft ist Christoph Somsen für die Durchstrahlungselektronenmikroskopie zuständig. Wissenschaftlich unterstützt wird er dabei von apl. Prof. Antonin Dlouhý, der insbesondere die Expertise in der physikalischen Charakterisierung von Kristalldefekten einbringt und in die Lehre im TEM-Bereich eingebunden ist. Christoph Somsen arbeitet außerdem eng mit Aleksander Kostka zusammen, der im Forschungszentrum ZGH für die hochauflösende Elektronenmikroskopie zuständig ist. Gemeinsam haben Christoph Somsen

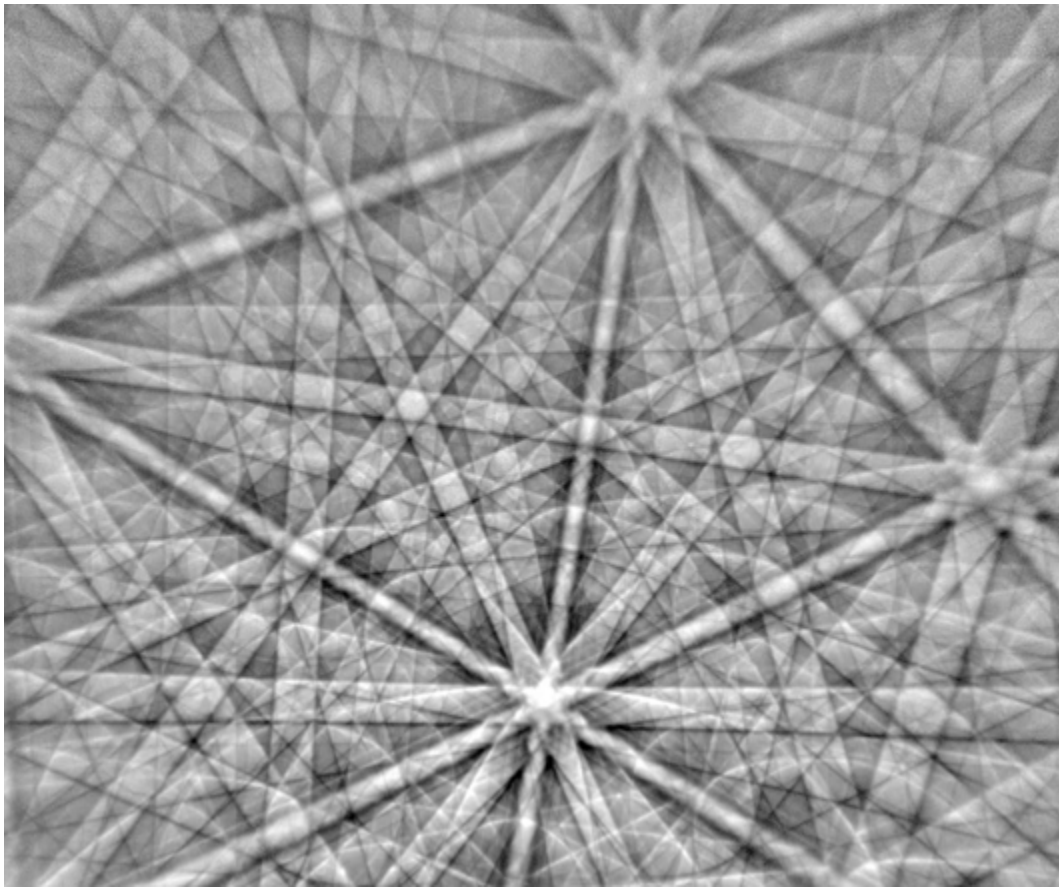
*can only be assessed using high-resolution orientation imaging scanning electron microscopes. In our Chair for Materials Science and Engineering, we combine our knowledge of thermodynamics, kinetics, mechanical properties and microstructures of materials with advanced electron microscopy methods. They are complex, time-consuming and expensive, as far as costs and experimental efforts are concerned. However, these methods are indispensable in modern materials science research.*

*For advanced electron microscopy, an infrastructure is required that allows the production of high-quality specimens for investigations. Our group has and provides such an infrastructure. It can be used by the members of our group and by other researchers from our university. Most of our research objectives could not be achieved if we were limited to a user status in a multi-user microscopy facility. We need long-term access of dedicated instruments. Advanced students and doctoral students need to be trained on the instruments and introduced to the various techniques. Electron microscopy must also be appropriately represented in the materials curriculum offered by our institute. Our electron microscopy group provides input for many other groups from inside and outside of our university.*

*In our group, Christoph Somsen is responsible for transmission electron microscopy. He closely collaborates with Antonin Dlouhý, who is our Adjunct Professor for defect analysis in the transmission electron microscope. Christoph Somsen and Antonin Dlouhý offer classes on basic and advanced topics of transmission electron microscopy. Christoph Somsen closely collaborates with Aleksander Kostka from the ZGH, who looks after the microscopy facilities there. Together, Christoph Somsen (coordinator) and Aleksander Kostka (technical*

(federführend) und Aleksander Kostka (technisch beratend) mehrere erfolgreiche Großgeräte-Anträge für Elektronenmikroskope und Zubehör gestellt.

*advisor) have written several successful applications for expensive microscopes and support infrastructure.*

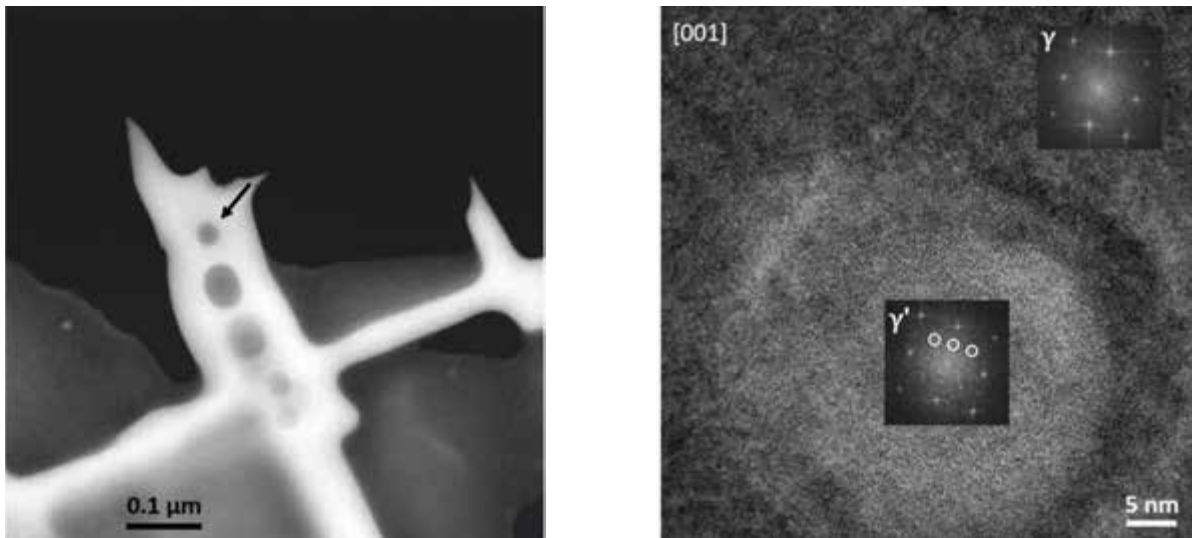


**Bild 5.6:** Von Jan Frenzel mit Methoden aus der Astro-Fotografie in der Qualität stark verbessertes SEM EBSD Pattern. Noch unveröffentlicht.

**Fig. 5.6:** *A high-quality SEM EBSD pattern by Jan Frenzel, who applied methods known from Astro photographs for image improvement. To be published.*

Gegen Ende des Berichtszeitraums wurden zwei neue Durchstrahlungselektronenmikroskope installiert, eines am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft und ein zweites, hochauflösendes im Forschungszentrum ZGH. Für das Einfahren dieser neuen Geräte, das Erproben der neuen Möglichkeiten und für die effektive Nutzung der neuen Geräte in den laufenden Forschungsprojekten konnten wir Alireza Basir Parsa als TEM-Wissenschaftler gewinnen, der bereits im Rahmen seiner Doktorarbeit und in einer ersten Postdoc-Phase im TEM-Bereich bei uns aktiv war.

*Toward the end of the reporting period, two new transmission electron microscopes were purchased from Jeol, one was installed in our group; the other is for the ZGH. The start-up of these systems and their timely integration into our running research projects required additional support. This is why we have made an effort to reattract Alireza Basir Parsa to our group. He is a TEM scientist, who did his PhD work in our group, using quantitative TEM to study interfaces in superalloys and surface regions after reciprocal lateral wear.*



**Bild 5.7:** TEM-Ergebnisse von Alireza Basir Parsa: Tertiäre  $\gamma'$ -Teilchen in einem  $\gamma$ -Kanal einer einkristallinen Ni-Basis Superlegierung. Links: Erst mit zunehmender Größe erzwingt die elastische Verzerrungsenergie eckige Teilchenformen. Rechts: Ein  $\gamma'$ -Nanoteilchen in einer hochauflösenden Aufnahme. **Fig. 5.7:** TEM images by Alireza Basir Parsa. Tertiary  $\gamma'$ -particles in a  $\gamma$ -channel of a Ni-base single crystal superalloy. Left: Small particles are spherical (arrow), the elastic strain energy enforces rectangular shapes as particles grow. Right: HR TEM image of a  $\gamma'$ -particle.

Für die Rasterelektronenmikroskopie ist am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft Norbert Lindner zuständig, in Forschung und Lehre wird sie von Jan Frenzel und Pascal Thome vertreten.

Die Elektronenmikroskopie prägt das übergeordnete Forschungsgebiet *Mechanische und mikrostrukturelle Charakterisierung* stark mit (siehe oben). Dabei bildet sie auch eine große, aktive und kohärente Arbeitsgruppe unseres Lehrstuhls. Einige Publikationen aus der Gruppe wurden bereits bei der Vorstellung des Forschungsgebiets genannt. Andere tauchen auch beim Output der anderen Forschungsgruppen auf.

Hier sind noch fünf weitere Beispiele für Veröffentlichungen aus jüngster Zeit:

D. Kurumlu, E.J. Payton, C. Somsen, A. Dlouhý, G. Eggeler, On the presence of work-hardened zones around fibres in a short fiber reinforced Al metal matrix composites, *Acta Mater.*, 60 (2012) pp. 6051-6063

*The scanning electron microscopy of our Chair is taken care of by Norbert Lindner. In teaching and research, Jan Frenzel and Pascal Thome represent this field.*

*In our group, all research areas benefit from the activities in the electron microscopy group, which is strongly interlinked with all other research groups. A number of publications from the electron microscopy field have already been cited above. Others will be referenced in the following paragraphs that describe the research of other focused groups.*

*Five additional examples of the type of work performed in the electron microscopy group are listed below:*



A.B. Parsa, P. Wollgramm, H. Buck, A. Kostka, C. Somsen, A. Dlouhy, G. Eggeler, Ledges and grooves at  $\gamma/\gamma'$  interfaces of single crystal superalloys, *Acta Mater.*, 90 (2015) pp. 105-117

H.C. Wang, C. Somsen, Y.J. Li, S.G. Fries, E. Detemple, G. Eggeler, Effect of Nb on improving the impact toughness of low-alloyed steels, *J. Mat. Sci.*, 54 (2019) pp. 7307-7321

T. Li, M.J. Lai, A. Kostka, S. Salomon, S.Y. Zhang, C. Somsen, M.S. Dargusch, D. Kent, Composition of the nanosized orthorhombic  $\omega$ -phase and its direct transformation to fine  $\alpha$ -phase during ageing in metastable beta-Ti alloys, *Scripta Mater.*, 170 (2019) pp. 183-188

D. Bürger, A. Dlouhy, K. Yoshimi, G. Eggeler, How nanoscale dislocation reactions govern low-temperature and high-stress creep of Ni-base single crystal superalloys, *Crystals*, 10 (2020) article number: 134



**Bild 5.8:** Guillaume Laplanche mit Easo George (ORNL) und Haruyuki Inui (University of Kyoto) bei der Internationalen Tagung für Hochentropielegierungen in Yokohama, November 2019.

**Fig. 5.8:** *Guillaume Laplanche with Easo George (ORNL) and Haruyuki Inui (University of Kyoto) at the International Conference on high-entropy alloys in Yokohama, November 2019.*

**Komplexe Legierungen (Hochentropielegierungen):** Herkömmliche metallische Werkstoffe bestehen aus einem Basiselement, dessen Eigenschaften durch Zuliegen anderer Elemente verändert werden. Vor Kurzem wurde eine neue Klasse metallischer Legierungen eingeführt, in denen mehrere Elemente in gleichen Konzentrationen vorkommen. Diese neuen Legierungen werden als Hoch-

**Compositionally complex alloys (high-entropy alloys, HEAs):** Traditional metallic materials consist of one base element, with small additions of other elements that allow for better properties. Examples are Fe with C, Al with Cu and Mg, Ni with Al and Cr. Recently, a new class of materials has received considerable attention. These metallic materials contain several elements in equal concen-

entropielegierungen (HEL) bezeichnet. Dieser Begriff drückt aus, dass die hohe Mischungsentropie dieser Legierungen einfache Mischkristalle stabilisiert und somit die Bildung intermetallischer Phasen und Entmischungsprozesse erschwert. Diese neue Materialklasse eröffnet einen neuen, großen Mehrkomponentenbereich, mit Legierungen mit interessanten Eigenschaften. Mit dem Otto-Paper aus dem Jahr 2013 hat der Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft an einer hochzitierten Publikation mitgearbeitet. Mit HEL kann man vielen weiteren interessanten Fragestellungen nachgehen: Wie kann man die Mischkristallverfestigung in diesen komplexen Legierungen beschreiben? Wie bewegen sich Versetzungen in HEL? Kann man in HEL ungewöhnliche Verformungsmechanismen beobachten? Zeigen sie bessere Eigenschaften als herkömmliche Legierungen? Sind diese HEL stabil oder metastabil? Wie erfolgt Diffusion in diesen chemisch komplexen Systemen? Nachdem Easo George die RUB verlassen hat, leitet Guillaume Laplanche in diesem Bereich eine Forschungsgruppe, in der u. a. an den Systemen Cr-Mn-Fe-Co-Ni (kfz) und Ti-Zr-Nb-Hf-Ta (krz) gearbeitet wird. Aufgrund der Bedeutung des Themas für die Materialforschung der RUB und wegen der exzellenten Leistungen von Guillaume Laplanche (mehrere hochzitierte Erstautorpaper in diesem Gebiet), wurde er im September 2020 von der zeitlich befristeten Juniorprofessur auf eine Dauerstelle übernommen.

Fünf Publikationen aus dieser Gruppe:

F. Otto, A. Dlouhy, C. Somsen, H. Bei, G. Eggeler, E.P. George, The influences of temperature and microstructure on the tensile properties of a CoCrFeMnNi high-entropy alloy, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 5743-5755

G. Laplanche, A. Kostka, C. Reinhart, J. Hunfeld, G. Eggeler, E.P. George, Reasons for the superior mechanical properties of medium-entropy CrCoNi compared to high-entropy CrMnFeCoNi, *Acta Mater.*, 128 (2017) pp. 292-303

*trations (e.g. five elements with 20 atom percent each). These new materials are referred to as high-entropy alloys (HEAs). This name is based on the hypothesis that a high entropy of a mixture stabilizes a solid solution and makes it difficult for intermetallic compounds to form. This new class of materials opens a new compositional space with many interesting alloy compositions, with technical potential and intriguing properties. With the Otto paper from 2013, our group managed to contribute to a highly cited publication, which is on its way to becoming a citation classic. More importantly for our group, these alloys allow the study of a number of fundamental questions. How can one explain solid solution strengthening in these alloys? How do dislocations move in complex solid solutions? Can unusual deformation mechanisms be observed in HEAs? Do HEAs have better material properties than conventional alloys? Are they microstructurally stable? How does atomic diffusion proceed in these chemically complex materials? Guillaume Laplanche leads the HEA research group. Amongst other systems, he investigates Cr-Mn-Fe-Co-Ni (fcc) and Ti-Zr-Nb-Hf-Ta (bcc) alloys. Because of the importance of this particular research topic for our institute and because of the excellent research output from Guillaume Laplanche (several highly cited first author publications), he was given a permanent position after his Junior Professorship.*

*Five examples of publications are given below:*

G. Laplanche, S. Berglund, C. Reinhart, A. Kostka, F. Fox, E.P. George, Phase stability and kinetics of  $\sigma$ -phase precipitation in CrMnFeCoNi high-entropy alloys. *Acta Mater.*, 161 (2018) pp. 338-351

A. Asabre, A. Kostka, O. Stryzhyboroda, J. Pfetzinger-Micklich, U. Hecht, G. Laplanche, Effect of Al, Ti and C additions on Widmanstätten microstructures and mechanical properties of cast Al0.6CoCrFeNi compositionally complex alloys. *Materials & Design*, 184 (2019) article number: 108201

G. Laplanche, Growth kinetics of a  $\sigma$ -phase precipitates and underlying diffusion processes in CrMnFeCoNi high-entropy alloys, *Acta Mater.*, 199 (2020) pp. 193-208

### **Materialwissenschaft der Stähle:**

Hongcai Wang hat sein Bachelor-Degree an der North Eastern University in Shenyang, China, erhalten. Sein Master-Studium führte er in Japan, an der Toyohashi University of Technology durch, wo er sich mit Hochverformungsverfahren beschäftigte. Er bewarb sich dann erfolgreich auf ein Stipendium der International Max Planck Research School SurMat. In seiner Doktorarbeit befasste er sich mit der Rolle von Bor in Stählen. Seit 2016 setzt er in seiner Gruppe die Durchstrahlungselektronenmikroskopie in Kombination mit anderen Methoden (z. B. Atomsonde) ein, um die Evolution der Mikrostruktur bei der thermomechanischen Behandlung von Stählen zu untersuchen. Die experimentellen Ergebnisse beurteilt er mit Blick auf thermodynamischen Berechnungen, die er mit Hilfe von MatCalc und ThermoCalc durchführt.

Hongcai Wang ist für ein größeres Projekt aus der Industrie verantwortlich, in dem es um die Entwicklung von Teilchenpopulationen in Grobblechen geht, wo man durch gezielte Änderungen der Legierungschemie in Kombination mit maßgeschneiderten Wärmebehandlungen sowohl die Festigkeit steigern will als auch gute Zähigkeitseigenschaften einstellen muss. Gegen Ende des Berichtszeitraums hat Hongcai Wang auch begonnen, mit den Wissenschaftlern des SFB/TR 103 gemeinsam an einkristallinen Superlegierungen zu arbeiten. Beispiele für Arbeiten aus seiner Gruppe:

*Materials Science of Steels: Hongcai Wang earned his bachelor degree from the North Eastern University in Shenyang, China. He then went to Japan, where he received his master degree from the University of Technology of Toyohashi, where he worked on high-pressure torsion. He was selected as one of the international doctoral students of the International Max Planck Research School SurMat. In his PhD thesis, he tackled open questions related to the role of boron in steels. Since 2016, his group has been studying microstructural evolution in steels, using advanced scale-bridging characterization methods to study elementary processes governing the evolution of microstructures during thermo-mechanical treatments. He interprets his experimental findings using the thermodynamic and kinetic simulation programs MatCalc and ThermoCalc.*

*Hongcai Wang is responsible for an industrial project, in which the focus is on the evolution of particle populations in thick section plates. By optimizing alloy composition and thermo-mechanical heat treatments, he aims at increasing the strength of low-alloyed steels and, at the same time, providing good toughness. Toward the end of the reporting period, Hongcai Wang also started to work with scientists from the collaborative research center SFB/TR 103 to apply TEM techniques to the characterization of single crystal Ni-base superalloys. Examples of publications from his group:*



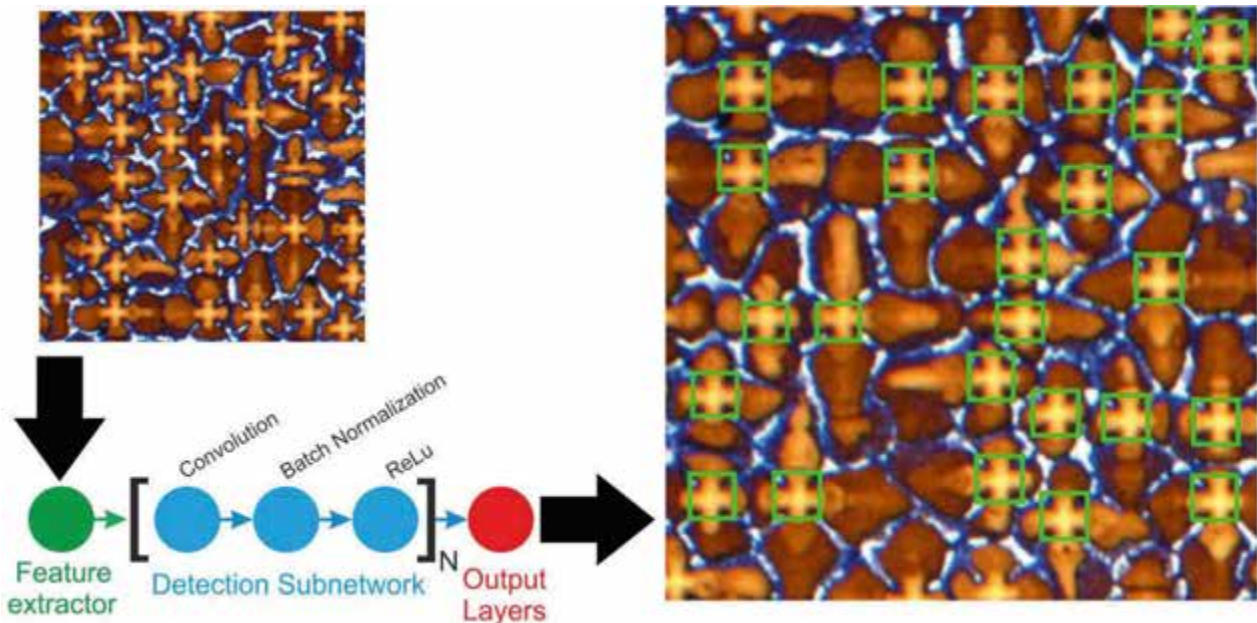
H.C. Wang, C. Somsen, G. Eggeler, E. Detemple, Carbide types in an advanced microalloyed bainitic/ferritic Cr-Mo-steel – TEM observations and thermodynamic calculations, *Matwiss. Werkstofftechn.*, 49 (2018) pp. 726-740

H.C. Wang, X. Zhang, D.S. Yan, C. Somsen, G. Eggeler, Interface dominated cooperative nanoprecipitation in interstitial alloys, *Nature Communications*, 9 (2018) article number: 4017

O.M. Horst, B. Ruttert, D. Bürger, L. Heep, H. Wang, A. Dlouhy, W. Theisen, G. Eggeler, On the Rejuvenation of Crept Ni-Base Single Crystal Superalloys (SX) by Hot Isostatic Pressing (HIP), *Mat. Sci. Eng. A*, 758 (2019) pp. 202-214

H.C. Wang, C. Somsen, Y.J. Li, S.G. Fries, E. Detemple, G. Eggeler, Effect of Nb on improving the impact toughness of low-alloyed steels, *J. Mat. Sci.*, 54 (2019) pp. 7307-7321

H.C. Wang, Y.J. Li, E. Detemple, Revealing the two-step nucleation and growth mechanism of vanadium carbides in microalloyed steels, *Scripta Mater.*, 187 (2020) pp. 350-354



**Bild 5.9:** Zum Einsatz des Machine Learnings bei der quantitativen Metallographie. Anwendung auf das Erkennen von Dendriten in gerichtet erstarrten einkristallinen Superlegierungen. **Fig. 5.9:** *Using machine learning in quantitative metallography. Application for recognizing dendrites in directionally solidified single crystal Ni-base superalloys.*

**Mikrostruktur-Informatik:** Nach dem Weggang von Oliver Kastner hatten wir am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft zunächst eine Zeitlang keine Gruppe mehr, in der numerische Methoden und Modellierung im Vordergrund standen. Zu Ende des Berichtszeitraums wurde eine neue fokussierte Forschergruppe in diesem Be-

**Microstructure Informatics:** *After Oliver Kastner had left our group in 2010, there were a few years where we did not have a group that concentrated on modeling and on numerical methods; instead we cooperated with scientists from ICAMS. Toward the end of the reporting period, we formed a new focused research group*

reich gegründet, die von Pascal Thome geleitet wird. Pascal Thome hatte sich in seiner Doktorarbeit sehr erfolgreich mit der rechnergestützten Auswertung von einer Vielzahl von EBSD-Beugungsdiagrammen beschäftigt. Als Mitglied der Martensitgruppe von Viktoria Yardley, beschäftigte er sich mit der Rekonstruktion austenitischer Gefüge durch Rückrechnung von martensitischen Strukturen. Für diese Arbeiten erhielt Pascal Thome zwei Posterpreise auf internationalen Tagungen. Er entwickelte im Rahmen des SFB/TR 103 ein neues hochauflösendes OIM-Verfahren, welches Winkelunterschiede  $< 0.1^\circ$  auflösen kann. Dieses Rotation Vector Baseline-Verfahren wurde entwickelt, um leichte Orientierungsunterschiede zwischen Dendriten aufzuzeigen und zu interpretieren. Es wurde 2019 in *Ultramicroscopy* publiziert und auf der TMS-Tagung in San Diego 2020 vorgestellt. Außerdem befasste sich Pascal Thome mit dem Einsatz des Machine Learnings bei der automatischen Erkennung und Auswertung von Gefügedetails.

Diese Themen sollen im Zentrum der Arbeit der neuen Gruppe stehen, zu der derzeit Pascal Thome und Alexander Richter als Doktorand gehören. Die neuen Methoden sollen weiterentwickelt werden. Für die Gruppe wird der ZIP-Raum des Lehrstuhls mit neuen Computern und neuer Software ausgerüstet.

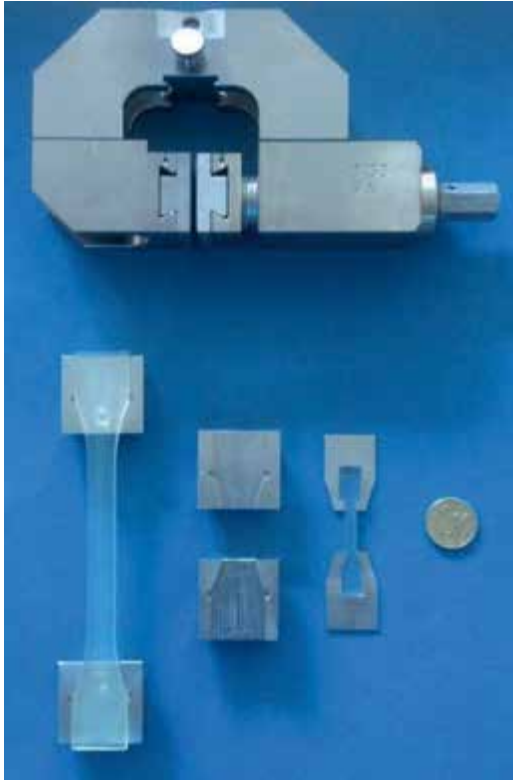
*in this area. It is headed by Pascal Thome. In his doctoral thesis, he worked on the assessment and evaluation of EBSD patterns in orientation imaging scanning electron microscopy. As a member of Victoria Yardley's group, he studied the relations between martensite microstructures and the parent austenite state. For this work, he obtained two best-poster awards at international conferences. Later, in the framework of SFB/TR 103, he developed a new high-resolution EBSD method, which allows the resolution of angular misorientations  $< 0.1^\circ$ . This rotation vector base line EBSD method was used to characterize the small misorientations between dendrites in directionally solidified Ni-base superalloys. The method was published in 2019 in *Ultramicroscopy*, and Pascal Thome presented it at the TMS meeting in San Diego in 2020. Pascal Thome also works on the use of machine learning for recognizing and evaluating complex microstructures.*

*These topics will be pursued in the new microstructure informatics group. Presently, this group consists of Pascal Thome and Alexander Richter as a graduate student. The objective is to develop new methods that allow for automatically evaluating and interpreting complex microstructures. The group will have access to an upgraded computer lab and provide access to advanced software tools for users.*

P. Hallensleben, F. Scholz, P. Thome, H. Schaar, I. Steinbach, G. Eggeler, J. Frenzel, On crystal mosaicity in single crystal Ni-based superalloys, *Crystals*, 9 (2019) article number: 149

L. Cao, P. Thome, L.A. Jacome, C. Somsen, G. Cailletaud, G. Eggeler, On the influence of crystallography on creep of circular notched single crystal superalloy specimens, *Mat. Sci. Eng. A*, 782 (2020) article number: 1339255

P. Thome, S. Medghalchi, J. Frenzel, J. Schreuer, P. Thome, Ni-base superalloy single crystal (SX) mosaicity characterized by the rotation vector base line electron back scatter diffraction (RVB-EBSD) Method, *Ultramicroscopy* 206 (2019) article number: 112817



**Bild 5.10:** Proben und Einspannungsvorrichtungen für die mechanische Prüfung von Formgedächtnispolymeren.

*Fig. 5.10: Specimens and grips for the mechanical testing of shape memory polymers.*

**Polymere Werkstoffe:** Am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft wurde seit seiner Gründung an Polymeren geforscht. Die Arbeiten, die heute in der Gruppe von Klaus Neuking durchgeführt werden, gehen ursprünglich auf den SFB 459 (Formgedächtnistechnik) zurück, in dem man die Formgedächtnislegierungen, um die es dort primär ging, mit Formgedächtnispolymeren vergleichen wollte. Am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft können aus Granulaten Proben hergestellt werden. Es wurden bestimmte Spritzgussformen entwickelt, mit deren Hilfe bestimmte Probenformen für mechanisches Prüfen und für chemische Untersuchungen hergestellt werden können. Als Modellwerkstoff hat sich die Gruppe in den letzten Jahren auf ein bestimmtes Polyurethan spezialisiert (Estane ETE 75DT3). Dieses kann für den Einwegeffekt programmiert werden. Die Polymergruppe konnte in das DFG-Schwerpunktprogramm SPP 1713 (Strong coupling of thermo-chemical and thermo-mechanical states in applied materials) ein Projekt einbringen, in dem es darum geht, wie die funktionellen Eigenschaften eines Formgedächtnispolymers durch die Auf-

*Polymers:* Since the founding of the Chair of Materials Science and Engineering, scientists have been working on polymer materials. The research, today performed in Klaus Neuking's group, originated in our collaborative research center on shape memory alloys SFB 459, where the functional properties and elementary mechanisms of shape memory alloys and polymers were compared. In our group, we have an instrumented extruder that allows for the production of polymer specimens starting from granulates. Specific moulds were designed and machined so specimens for mechanical (tensile testing, mechanical spectroscopy), thermal (DSC assessment) and chemical (uptake of small molecules) experiments could be produced. As a model material, we have developed expertise in working with a polyurethane of type Estane ETE 75DT3. This material can be programmed for the one-way effect. Our polymer group was able to obtain funding through the DFG priority program SPP 1713 (Strong coupling of thermo-chemical and thermo-mechanical states in applied materials). Here we investigate how the uptake of



nahme kleiner Moleküle verändert werden. Dieses Projekt wurde zunächst in Zusammenarbeit mit Forschern aus der Polymermechanik und -physik auf den Weg gebracht. Heute arbeiten wir auf diesem Gebiet sehr eng mit der Materialphysik-Gruppe von Prof. Fatollah Varnik vom ICAMS zusammen. Beispiele für Veröffentlichungen aus der Polymergruppe:

*small molecules affects the one-way effect. At the beginning, this project was submitted as a joint research project with researchers from polymer physics and polymer mechanics. Today, we closely collaborate with Prof. Fatollah Varnik's group from ICAMS. Examples of five publications from our polymer group are:*

S. Mogharebi, R. Kazakeviciute-Makovska, H. Steeb, G. Eggeler, K. Neuking, On the cyclic material stability of shape memory polymers, *Materialwiss. u. Werkstofftechn.*, 44 (2013) pp. 521-526

A.M.S. Chowdhury, C. Schmidt, K. Neuking, G. Eggeler, Comparative study of the strain and recovery ratio of a shape memory polymer: Atomic force microscopy experiments, *High Performance Polymers*, 26 (2014) pp. 20-26

A. Marquardt, S. Mogharebi, K. Neuking, F. Varnik, G. Eggeler, Diffusion of small molecules in a shape memory polymer, *J. Mater. Sci.*, 51 (2016) pp. 9792-9804

E. Mahmoudinezhad, A. Marquardt, G. Eggeler, F. Varnik, Molecular dynamic simulations of entangled polymers, *Proc. Int. Conf. on Comp. Science*, Book Series: *Procedia Computer Science*, Editors: P. Koumoutsakos et al., 108 (2017) pp. 265-271

E. Ghobadi, A. Marquardt, E.M. Zirdehi, K. Neuking, F. Varnik, G. Eggeler, H. Steeb, The influence of water and solvent uptake on the functional properties of shape-memory polymers, *Int. J. Polymer Science*, (2018) article number: 7819353

**Werkstoffprocessing:** In den letzten Jahren wurden viele wissenschaftliche Erfolge dadurch erzielt, dass wir Werkstoffe selber herstellen konnten. Dies galt z. B. für das Kriechverhalten von reinem Cu mit Zusatz von Spurenelementen, die auf Korngrenzen seigern. Durch gute Kontrolle der schmelzmetallurgischen Herstellungsrouten konnte auch die Abhängigkeit der Martensitstarttemperatur in NiTi-Legierungen vom Ni-Gehalt geklärt werden. Diese Arbeiten wurden von Jan Frenzel vorangetrieben, der im Berichtszeitraum eine eigene Forschungsgruppe in diesem Bereich etabliert hat, die er als apl.-Professor leitet. Mehr und mehr rücken dabei auch die elementaren Strukturbildungsprozesse in den Vordergrund, die zur Ausbildung der Mikrostruktur beim Erstarren und bei der thermomecha-

**Materials Science of Processing:** *In recent years, our group succeeded in clarifying many open questions, because we were able to produce materials on our own on a laboratory scale. This helped to understand the creep behavior of Cu alloys with and without Bi and Sb additions, which segregate to grain boundaries. This also contributed to a new understanding of the influence of excess Ni on the martensite start temperatures in NiTi shape memory alloys. Jan Frenzel carries forward these studies. In the reporting period, he has established a materials processing group he heads as Adjunct Professor. The processes governing microstructural evolution during solidification and post-cast thermomechanical treatments have become an important element of research. Toward the end of the report-*

nischen Nachbehandlung führen. Gegen Ende des Berichtszeitraums wurde insbesondere eine neue Bridgman-Technik realisiert, mit deren Hilfe einkristalline Superlegierungen hergestellt werden können und wo in Kombination mit skalenübergreifenden Charakterisierungsmethoden Strukturbildungsprozesse (z. B. kompetitives Dendritenwachstum, Einwachsen von Defekten beim Erstarren) geklärt werden konnten.

Beispiele für fünf Veröffentlichungen aus der Gruppe:

F. Otto, G.B. Viswanathan, E.J. Payton, J. Frenzel, G. Eggeler, On the effect of grain boundary segregation on creep and creep rupture, *Acta Mater.*, 60 (2012) pp. 2982-2998

M. Rahim, J. Frenzel, M. Frotscher, J. Pfetzinger-Micklich, R. Steegmüller, M. Wohlschlägel, H. Mughrabi, G. Eggeler, Impurity levels and fatigue lives of pseudoelastic NiTi shape memory alloys, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 3667-3686

J. Frenzel, A. Wiczorek, I. Opahle, B. Maaß, R. Drautz, G. Eggeler, On the effect of alloy composition on martensite start temperatures and latent heats in NiTi based shape memory alloys, *Acta Mater.*, 90 (2015) pp. 213-231

P. Hallensleben, H. Schaar, P. Thome, N. Jons, A. Jafarizadeh, I. Steinbach, G. Eggeler, J. Frenzel, On the evolution of cast microstructure during processing of single crystal Ni-base superalloys using a Bridgman seed technique, *Materials & Design*, 128 (2017) pp. 98-111

P. Hallensleben, F. Scholz, P. Thome, H. Schaar, I. Steinbach, G. Eggeler, J. Frenzel, On crystal mosaicity in single crystal Ni-base superalloys, 2019, *Crystals*, 9 (2019), article number: 149

**Kriechen:** Kriechen ist die zeitabhängige plastische Verformung bei hoher Temperatur. Die Kriechrate ist sehr stark von der Spannung (Potenzgesetz) und von der Temperatur (Arrhenius-Funktion) abhängig. Am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft gibt es ein Kriechlabor, in dem das Kriechverhalten von Hochtemperaturwerkstoffen erfasst werden kann. Insbesondere werden im Kriechlabor vorverformte Materialzustände erzeugt, die dann mikroskopisch charakterisiert werden. Außerdem besteht Interesse an innovativen Versuchen (Miniatürkriechprobe, Doppelscherkriechprobe, Proben mit Rundkerben). Gegen Ende des Berichts-

*ing period, a new seeded Bridgman technique was established that allows the processing of laboratory-scale bars of single crystal superalloys. In combination with scale-bridging characterization methods, this enables the identification of elementary processes that govern microstructural evolution (e.g. competitive dendrite growth during solidification and the way in which dislocations nucleate when a melt solidifies).*

*Examples of five publications from the materials processing group are:*

**Creep:** *Creep is the time-dependent plastic deformation of materials. The creep rate features a high stress (power law) and temperature dependence (Arrhenius type). We have a creep laboratory, where we can characterize the creep behavior of high-temperature materials. We can produce precisely pre-deformed material states, which are needed to investigate the evolution of microstructure during creep. Moreover, we are interested in new specimen geometries (miniature tensile creep specimens, double shear specimens, tensile specimens with circular notches). Toward the end of the reporting period, David Bürger became head of the*

zeitraum hat David Bürger die Leitung des Kriechlabors übernommen. Es gibt acht Kriechmaschinen und eine Prüfmaschine, an der Warmzugversuche durchgeführt werden. Das Kriechlabor ist durchgehend gut ausgelastet. Oliver Horst führt dort Untersuchungen zur Legierungsentwicklung im SFB/TR 103 fort. Julian Hunfeld und Larissa Heep untersuchen das Kriechverhalten neuer Hochtemperaturlegierungen für Industriepartner. Und David Bürger ist für unterschiedliche Messprogramme im Rahmen des SFB/TR 103 verantwortlich.

*creep laboratory that consists of eight creep machines and one constant strain rate machine. A number of research projects are presently running in the creep lab. Oliver Horst performs experiments in support of the alloy development in SFB/TR 103. Julian Hunfeld and Larissa Heep investigate the creep behavior of new high-temperature alloys in projects with industry partners. David Bürger runs a couple of programs related to the creep work in SFB/TR 103.*

Beispiele für 5 Veröffentlichungen aus der Kriechgruppe:

*Examples of five publications from the materials processing group are:*

P. Wollgramm, D. Bürger, A.B. Parsa, K. Neuking, G. Eggeler, The effect of stress, temperature and loading direction on the creep behavior of Ni-based single crystal superalloy miniature tensile specimens, *Materials at High Temperatures*, 33 (2016) pp. 346-360

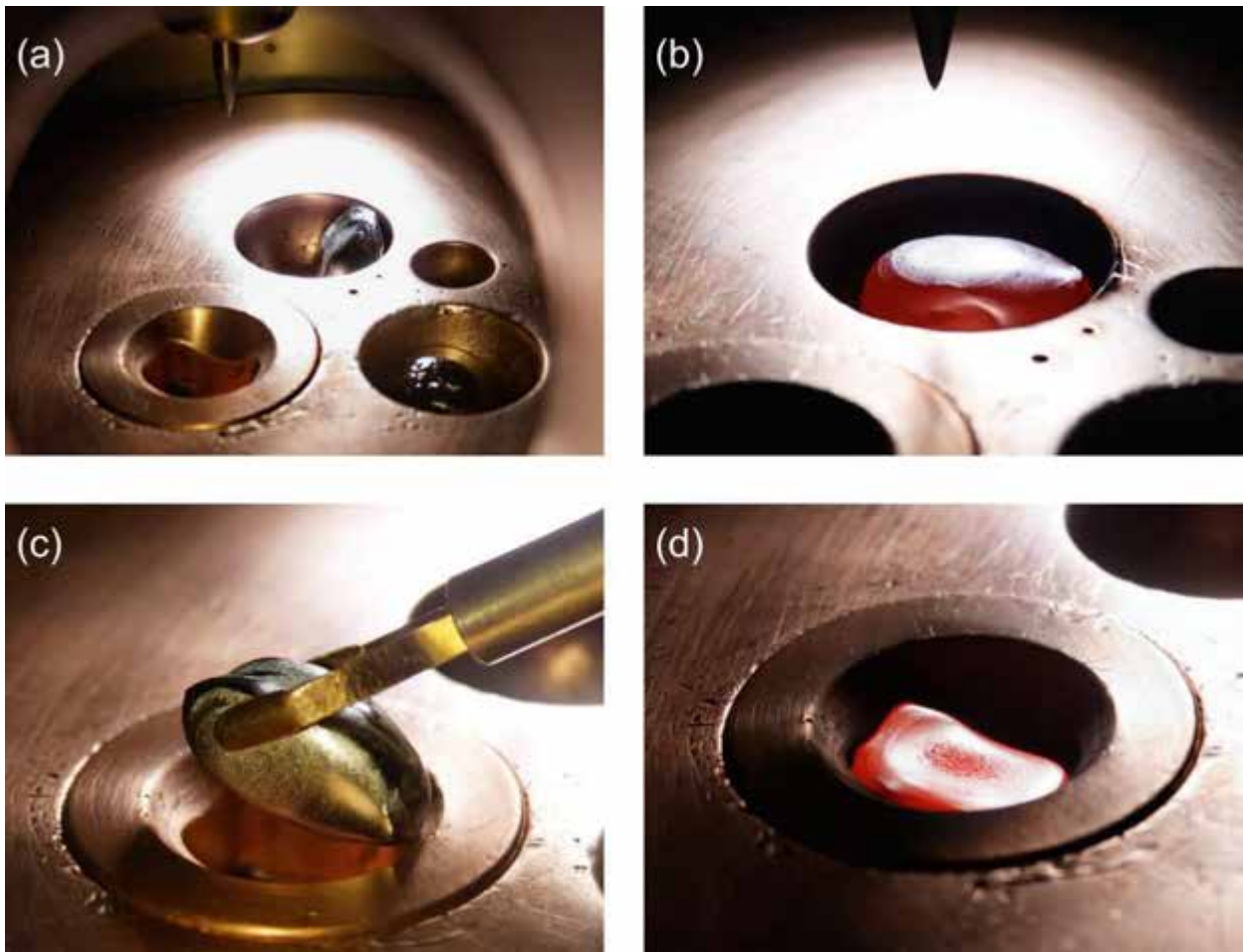
D. Bürger, A.B. Parsa, M. Ramsperger, C. Körner, G. Eggeler, Creep properties of single crystal Ni-base superalloys (SX): A comparison between conventionally cast and additive manufactured CMSX-4 materials, *Mat. Sci. Eng. A*, 762 (2019) article number: 138098

O.M. Horst, B. Rutttert, D. Bürger, L. Heep, H. Wang, A. Dlouhy, W. Theisen, G. Eggeler, On the rejuvenation of crept Ni-base single crystal superalloys (SX) by hot isostatic pressing (HIP), *Mat. Sci. Eng. A*, 758 (2019) pp. 202-214

L. Cao, P. Thome, L.A. Jacome, C. Somsen, G. Cailletaud, G. Eggeler, On the influence of crystallography on creep of circular notched single crystal superalloy specimens, *Mat. Sci. Eng. A*, 782 (2020) article number: 782

D. Bürger, A. Dlouhy, K. Yoshimi, G. Eggeler, How nanoscale dislocation reactions govern low-temperature and high-stress creep of Ni-base single crystal superalloys, *Crystals*, 10 (2020) article number: 134





**Bild 5.11:** Erschmelzen einer TiTa-Legierung. Processing-Gruppe von Jan Frenzel.  
*Fig. 5.11: Melting of a TiTa ingot. Processing group of Jan Frenzel.*

## 6. Lehre

Am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft erhalten Studierende die Gelegenheit, die wichtigen Werkstoffgruppen (Metalle, Keramiken, Polymere und Verbunde) in Lehre und Forschung kennenzulernen. Sie erhalten darüber hinaus eine gezielte Ausbildung in den Bereichen Werkstoffherstellung, Werkstoffmikroskopie und dem experimentellen Erfassen und Modellieren von funktionellen und strukturellen Werkstoffeigenschaften. Die Abkürzungen D/E und G/E stehen für Deutsch/Englisch und German/English und geben die Sprache an, in der die Vorlesung gehalten wird.

**Vorlesungen, die im Wintersemester angeboten werden:**

**Grundlagen Werkstoffe (D, G. Laplanche, G. Eggeler):** Diese Vorlesung für Erstsemester führt in das Gebiet *Werkstoffe* ein und vermittelt einen ersten Eindruck von den Werkstoffklassen *Metalle, Glas/Keramik, Kunststoffe* und *Verbundwerkstoffe*. Es werden außerdem Stoffkreisläufe und das Vorgehen bei der Werkstoffauswahl besprochen. Nach dem erfolgreichen Besuch der Vorlesung sind die Studierenden in der Lage, die Vorgänge beim Erstarren von Schmelzen und bei der Wärmebehandlung von Werkstoffen zu verstehen. Diese Vorgänge bestimmen die Ausbildung des Werkstoffgefüges und legen damit die Werkstoffeigenschaften fest. Die Studierenden lernen, die Festigkeit von Werkstoffen zu beurteilen. Behandelt werden elastisches und plastisches Materialverhalten, die Festigkeit gekerbter und rissbehafteter Bauteile (Bruchmechanik) sowie das mechanische Werkstoffverhalten unter Wechselbelastung (Werkstoffermüdung) und bei hoher Temperatur (Kriechen). Außerdem wird die Korrosion metallischer Werkstoffe besprochen und eine kurze Einführung in elektrische und magnetische Eigenschaften gegeben. Die Vorlesung findet im Wintersemester dienstags von 14.00 bis 17.00 Uhr statt.

## 6. Teaching

*At the Chair for Materials Science and Engineering, students have the opportunity to learn about the important groups of engineering materials (metals, ceramics, polymers and composites) through teaching and research. They also receive training in the areas of materials processing, scale bridging materials microscopy and the experimental determination and modeling of functional and structural properties. The abbreviations D/E and G/E stand for Deutsch/Englisch and for German/English and indicate the language in which the lecture is given.*

***Classes held in the winter semester:***

***Introduction to Engineering Materials (G, G. Laplanche, G. Eggeler):*** *This lecture explains the basics of engineering materials to first-semester students. It introduces the major material classes: metals, glass/ceramics, polymers and composites. Materials cycles are discussed and procedures used in selecting materials are reviewed. After successfully completing the lecture, students can understand the fundamental processes, which govern the evolution of microstructures during solidification and during heat treatments. Since these processes govern the formation of the microstructure, they also define material properties. The students learn how to assess the strength of materials. Elastic and plastic material behaviors are reviewed, and the role of notches and cracks is discussed (fracture mechanics). Emphasis is placed on mechanical material behavior under cyclic loading (fatigue) and at elevated temperatures (creep). Moreover, the corrosion of metallic materials is reviewed and electric and magnetic properties are introduced. The lecture provides a first overview on materials processing, microstructure and properties. It is held in the winter semester on Tuesdays from 2:00 to 5:00 p.m.*



**Bild 6.1:** Guillaume Laplanche hält im Wintersemester 2019/20 die Werkstoff-Grundvorlesung.

*Fig. 6.1: Guillaume Laplanche teaching the Introduction to Engineering Materials in the winter semester 2019-20.*

**Experimentelle Methoden der Materialwissenschaften (D, J. Frenzel):** Die Vorlesung in deutscher Sprache führt die Studierenden des neuen Bachelorstudiengangs *Materialwissenschaft* in die experimentellen Schlüsselmethoden des Faches ein. Die Vorlesung will Studienanfängern einen ersten Einblick in die Verfahren zur Herstellung von Werkstoffen im Labormaßstab, in die Charakterisierung von Mikrostrukturen mit Licht- und Elektronenmikroskopen und zur Erfassung mechanischer Eigenschaften vermitteln. Die Vorlesung wird durch ein Praktikum ergänzt, in welchem die Studierenden erste praktische Erfahrungen zu experimenteller Laborarbeit machen können. Die Vorlesung findet im Wintersemester statt, Zeit und Ort werden zu Semesterbeginn angekündigt.

**Mikrostrukturen von Werkstoffen (E, G. Eggeler):** Diese Vorlesung wird in englischer Sprache gehalten und wendet sich primär an Studierende des Master Studiengangs *Materials Science and Simulation*. Sie ist darüber hinaus auch für Quereinsteiger in die Materialwissenschaften geeignet. Sie vermittelt die Grundlagen, die man braucht, um Mikro-

**Experimental Methods in Materials Science (G, J. Frenzel):** The lecture introduces students of the new bachelor program Materials Science to experimental key methods that characterize the daily work in this field. It provides a first overview and allows for the appreciation of how materials are produced on the lab scale. Students will learn how to characterize the microstructures (optical and electron microscopy) and how to assess mechanical properties (hardness and tensile testing). In a lab course that is held as a part of the lecture, students can familiarize themselves with common techniques. They acquire basic skills required to work in a materials laboratory. The lecture takes place in the winter semester; time and venue will be announced at the start of the semester.

**Elements of Microstructure (E, G. Eggeler):** This lecture is given in English and was devised for the master students of the master course Materials Science and Simulation. It is also well suited for students who take up materials studies at a later phase. It provides a focused introduction to the basics of our field. It is also well suited for materials students who



strukturen von Werkstoffen zu verstehen. Die Vorlesung ist auch gut dazu geeignet, das englische Fachvokabular zu erweitern und einzuüben. Begonnen wird mit dem Aufbau fester Stoffe, dazu werden zunächst der amorphe und der kristalline Zustand besprochen. Es werden die Begriffe *Nanostruktur*, *Mikrostruktur* und *Makrostruktur* erläutert. Dazu erfolgt zunächst die Besprechung wichtiger Beugungsmethoden und mikroskopischer Verfahren. Es werden Gitterdefekte, die aus materialwissenschaftlicher Sicht die Elemente der Mikrostruktur darstellen, eingeführt (Punktdefekte, Versetzungen, innere und äußere Grenzflächen und dreidimensionale Elemente wie Poren und Ausscheidungs- bzw. Einschlussteilchen). Im Rahmen der Vorlesung werden wesentliche thermodynamische (Stabilität, Zustandsdiagramme) und kinetische Aspekte (Diffusion, Phasenumwandlungen, ZTU-Diagramme) behandelt. Die entscheidende Bedeutung von Mikrostrukturen für viele wichtige Werkstoffeigenschaften wird herausgearbeitet. Die Vorlesung findet im Wintersemester mittwochs von 14.00 bis 16.00 Uhr statt.

*wish to familiarize themselves with the English technical terms of our field. The lecture starts with an explanation of the atomic structures of amorphous and crystalline states. The concepts of nano, micro and macro structures of engineering materials are introduced. Key diffraction methods and microscopic methods are treated. There is a strong focus on crystal defects (vacancies, foreign atoms, dislocations, interfaces), which represent the elements of a material's microstructure. The lecture treats thermodynamic aspects of point defects, stresses and elastic strain energies associated with dislocations, internal and external interfaces and three-dimensional defects such as pores, precipitates, dispersoid particles, fibers and inclusions. Important thermodynamic (phase stabilities and phase diagrams) and kinetic aspects (diffusion, phase transformations, TTT diagrams) are introduced. The key role of the microstructure of an engineering material in governing many of its important service properties is highlighted. The lecture is held in the winter semester on Wednesdays from 2:00 to 4:00 p.m.*



**Bild 6.2:** Wintersemester 2019/20. Alex Asabre hält die Übungen zur englischsprachigen MSS-Vorlesung *Elements of Microstructure*. **Fig. 6.2:** Winter semester 2019-20. Alex Asabre does the exercises that accompany the MSS lecture *Elements of Microstructure*.

**Werkstoffeigenschaften (D, K. Neuking, S. Thienhaus):** In dieser Vorlesung werden Kenntnisse über wichtige physikalische Werkstoffeigenschaften vermittelt, die in Forschung und in der industriellen Praxis eine Rolle spielen. Ausgehend von den naturwissenschaftlichen Grundlagen (Aufbau fester Stoffe), werden beispielhaft ausgewählte Werkstoffeigenschaften (z. B. Piezoeffekt, Seebeckeffekt) und Charakterisierungsmethoden (energie-dispersive Analyse von Röntgenstrahlen, Beugungsinformationen) besprochen. Dies geschieht mit engem Bezug zur Anwendung dieser Effekte/Eigenschaften in Forschung und Anwendung. Besprochen werden unter anderem die Mößbauer-Spektroskopie, Kraftsensoren, Thermoelemente und die chemische Analyse in der Mikrosonde und im Rasterelektronenmikroskop. Die Studierenden lernen wichtige Werkstoffeigenschaften und Messverfahren und deren Hintergründe kennen. Die Vorlesung findet im Wintersemester donnerstags von 10.15 bis 13.00 Uhr statt.

**Werkstoffrecycling – Wachstum, Ressourcen, Umwelt und Werkstoffrecycling (D, J. Frenzel):** In unserer Welt kann materieller Wohlstand nur dadurch entstehen, dass wir technisch ausgereifte, dem Menschen nützliche, ästhetisch ansprechende, energiesparende und darüber hinaus die Umwelt wenig belastende Güter zu konkurrenzfähigen Preisen herstellen. Kennzeichnend für moderne Technik ist auch ein möglichst geringer Werkstoffverbrauch pro technischem Nutzen bei zunehmender Komplexität. In technischen Systemen kommen die Kreisläufe verschiedener Werkstoffe für die Lebensdauer des jeweiligen technischen Systems zusammen. Hat ein System das Ende seiner technisch nutzbaren Lebensdauer erreicht, gibt es zwei mögliche Grenzfälle, die in dieser Vorlesung betrachtet werden. Im günstigsten Fall kann durch Recycling aus Abfall Sekundärrohstoff hergestellt werden. Dies kann durch Wiederverwendung von Werkstoffen,

**Materials Properties (G, K. Neuking, S. Thienhaus):** *This lecture introduces the physical basics of important material properties and frequently used characterization methods. Based on a fundamental understanding of solid state concepts, selected material properties like the piezo effect and the Seebeck effect and prominent material characterization methods like the energy dispersive analysis of X-rays and diffraction of X-rays are discussed. Basic concepts are introduced with a close focus on the applications of these properties/processes in basic and applied research. As examples of characterization methods, the Mößbauer spectroscopy, force sensors and thermo couples are discussed. Moreover, the local chemical analysis used in micro probes and scanning electron microscopes is introduced. Students learn the fundamentals of relevant physical material properties and characterization methods. The lecture is offered in the winter semester and takes place on Thursdays from 10:15 a.m. to 1:00 p.m.*

**Materials Recycling – Growth, Resources, Environment and Materials Recycling (G, J. Frenzel):** *The standard of living in our world is based on a number of key parameters. We must be able to produce goods of high technical standards. These goods must fulfill a number of requirements. They must be useful and have a pleasant aesthetic appearance. During their whole life cycle, they should be energy efficient and environmentally friendly. It should be possible to manufacture them at competitive prices. Modern materials technology should aim at a minimum consumption of a material for each technical benefit, in an environment of ever increasing overall complexity. Technical systems (like power plants or cars) combine different materials and hence their environmental impact and their exploitable service lives are associated with the life cycles of different materials. When a system reaches the end of its service life, one has to dispose of the*

aber auch durch stoffliche oder energetische Nutzung erfolgen. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen schont natürliche Ressourcen und leistet einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung. Die ungünstigste Verfahrensweise besteht darin, z. B. durch Verbrennung eine Feinstverteilung der Atome eines gebrauchten Werkstoffs auf der Erdoberfläche, im Wasser oder in der Atmosphäre zu bewirken. Vor diesem Hintergrund werden in dieser Vorlesung Stoffkreisläufe aus werkstoffwissenschaftlicher Sicht betrachtet und bewertet. Die Vorlesung findet im Wintersemester freitags von 16.00 bis 19.00 Uhr statt.

*materials from which its components are made. This lecture considers and discusses the two extremes presently applied by mankind. In the best case scenario, secondary raw materials can be recycled from waste (secondary materials) or materials can be used for energy production. The use of recycled materials contributes to a sustainable technology development. In contrast, the worst case scenario consists of a final state, in which, after service, the atoms of a material are finely distributed (in the earth, the atmosphere or the oceans). The class takes place in the winter semester on Fridays from 4:00 to 7:00 p.m.*



**Bild 6.3:** Die Lehrenden des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft (mit Gast Dr.-Ing. Janine Pftzing-Micklich vom ZGH) bei einer Besprechung. **Fig. 6.3:** *Scientists from our group (together with guest Dr.-Ing. Janine Pftzing-Micklich from ZGH) involved in teaching discuss the curriculum.*

**Defektanalyse im Durchstrahlungselektronenmikroskop I (E, A. Dlouhy):** Diese Vorlesung wendet sich an fortgeschrittene Studierende, die die Grundlagen der Durchstrahlungselektronenmikroskopie erlernt haben und die diese Methode im Rahmen ihrer Forschungsarbeiten einsetzen. Die Vorlesung wird in kleinen Gruppen ( $n \leq 4$ ) zumeist direkt am TEM durchgeführt. Es geht um die Beherrschung des Beugungskontrasts. Dabei wird zunächst das Zustandekommen von Beugungsdiagrammen (Punkt-Diagramme und Kikuchi-Linien-Karten

**Transmission Electron Microscopy of Crystal Defects I (E, A. Dlouhy):** *This lecture addresses advanced students of Materials Science and Engineering who are familiar with the basics of transmission electron microscopy (TEM) and apply TEM in their research. The lecture consists of blocks that are limited to a maximum of four students. A significant part of the lecturing is performed directly at the TEM. The lecture provides the basic knowledge of how to operate an advanced TEM. One primary objective of the course is to teach how defined image contrasts*



(KLK)) erläutert. Außerdem wird eingeübt, wie man mit Hilfe von KLK kristalline Proben orientieren und definierte Abbildungsbedingungen (Zweistrahlfälle) einstellen kann. Es wird besprochen, wie man physikalische und mikrostrukturelle Parameter bestimmt, die die Versetzungsstrukturen kennzeichnen (Gleitebene, Richtung des Linienelements, Burgers-Vektoren, Versetzungsdichten). Es werden die Grundlagen der Stereomikroskopie am TEM besprochen. Außerdem werden die Möglichkeiten der analytischen Durchstrahlungselektronenmikroskopie (EDX, Mikrobeugung und Z-Kontrast) vorgestellt. Die Vorlesung findet als Blockveranstaltung sowohl im Winter- als auch im Sommersemester statt. Priorität bei der Vergabe der begrenzten Anzahl von Plätzen haben diejenigen Studierenden des Instituts für Werkstoffe, die die Durchstrahlungselektronenmikroskopie für ihre Masterarbeiten brauchen.

**Werkstoffe der Energietechnik (D, C. Somsen):** In dieser Vorlesung werden Werkstoffe und deren Eigenschaften besprochen, die in Systemen eingesetzt werden, die unsere Energieversorgung sicherstellen. Dabei geht es nach wie vor um Hochtemperaturwerkstoffe, die auch in Zukunft für die Grundversorgung und als Backupsysteme in Dampf- und Gasturbinen gebraucht werden. Einige ausgewählte Werkstoffprobleme aus den Bereichen Windenergie, Solarenergie und Energiespeicherung werden auch angesprochen. Bei den Hochtemperaturwerkstoffen geht es um Kriechen, um Hochtemperaturkorrosion und um Hochtemperaturermüdung. Bei der Windenergie werden Aspekte der Herstellung von Flügeln und Getrieben und deren lebensdauerbegrenzenden Schädigungsmechanismen besprochen.

Aus dem Bereich der Solarenergie wird kurz auf die Bedeutung strategischer Elemente, auf Probleme der Herstellung und auf Aspekte der Lebensdauer einge-

*can be established. As a start, the physical origin of diffraction patterns and of Kikuchi line diffraction patterns in crystalline TEM foils is discussed. Students learn how to orient single crystals using Kikuchi maps for tilting. After having participated in the lecture, they are able to establish well-defined contrast conditions required to identify parameters that characterize dislocation substructures, like Burgers vectors of dislocations and dislocation densities. Moreover, an introduction to modern analytical TEM is given and the potential of local chemical analysis of complex microstructures using EDX, micro diffraction and Z-contrast is discussed. The training blocks are offered in the winter and the summer semester. There is only a limited number of spots available. Priority is given to students and researchers of the Institute for Materials who need TEM for their research.*

**Materials for Energy Systems (G, C. Somsen):** *This lecture deals with materials used in systems that ensure our energy supply. The lecture covers high-temperature materials for gas turbines in power plants, which in the future are needed as backup systems in an environment where renewable energy sources dominate. Selected material problems from renewable energy systems relying on wind energy and solar energy are discussed. The important materials properties governing the service life of high-temperature components are creep, high-temperature corrosion and high-temperature fatigue. Concerning wind energy, the processing and manufacturing of large wings and gear boxes are discussed, together with the elementary damage mechanisms governing the exploitable service life of these key components.*

*Solar energy material issues, starting from availability of strategic elements and manufacturing challenges. Factors that limit their service life are discussed. One*

gangen. Die Vorlesung soll an einigen Beispielen aufzeigen, dass unabhängig von der Art der Energieerzeugung strukturelle und funktionelle Werkstoffeigenschaften von entscheidender Bedeutung sind. Die Vorlesung findet im Wintersemester donnerstags von 13.00 bis 16.00 Uhr statt.

**Werkstoffe der Luft- und Raumfahrt (E, M. Bartsch):** Die Vorlesung gibt einen umfassenden Einblick in die Hochleistungswerkstoffe für die Luft- und Raumfahrt. Neben bewährten Standardwerkstoffen und Werkstoffsystemen werden auch neueste Entwicklungen und visionäre Konzepte besprochen. Es wird gezeigt, wie man Werkstoffe und Werkstoffsysteme entwickelt, die leicht und verlässlich unter extremen Bedingungen funktionieren (z. B. in Flug- und Raketentriebwerken, Hitzeschildern und thermischen Schutzschichten, leichten Strukturen für Zellen, Flügel und Satelliten). Werkstoffschädigung muss mit in Betracht gezogen werden, und man muss elementare Schädigungsprozesse, die die Lebensdauer begrenzen, kennen. Wichtige Standardcharakterisierungs- und Testmethoden aus der Luft- und Raumfahrt werden eingeführt und deren Anwendung für die Qualifikation von Werkstoffen und Werkstoffsystemen werden besprochen. Konzepte und Methoden für die Lebensdauerabschätzung von Komponenten für die Luft- und Raumfahrt (Gehäuse, Zellen und Triebwerke) werden vorgestellt. Die Vorlesung findet im Wintersemester freitags von 9.00 bis 12.00 Uhr statt.

**Werkstoffoberflächen und Korrosion (E, M. Rohwerder, M. Stratmann):** Die Vorlesung behandelt die Korrosion der Metalle sowie damit verbundene oberflächentechnische Aspekte und Korrosionsschutzmaßnahmen. Die Vorlesung gibt einen Einblick in die Oberflächenwissenschaften und in die Elektrochemie. Es werden thermodynamische und kinetische Aspekte der Korrosion erläutert. Typische Korrosionsprobleme werden vorgestellt

*objective of the lecture is to show that no matter which type of energy generation we consider, materials mechanics issues are of utmost importance. The class takes place in the winter semester on Thursdays from 1:00 to 4:00 p.m.*

**Materials for Aerospace Applications (E, M. Bartsch):** *The lecture provides an overview of high-performance materials for aerospace applications. They include improved classical materials and material systems. Emphasis is placed on new material developments and visionary concepts. The students learn how light and reliable materials and material systems are designed, which operate under extreme service conditions such as thermal fatigue loading, creep and high-temperature corrosion. From these materials, critical high-temperature components are manufactured that are needed to construct aero-engines and rockets. The materials considered in this lecture are moreover used in thermal protection shields for reentry vehicles and in lightweight structures for airframes of wings and satellites. The students learn how critical components can be designed taking material degradation during service life into account. Key characterization and testing methods are introduced that are used to qualify materials and joints for aerospace applications. Moreover, concepts and methods for service life assessments are presented. The class is held in the winter semester on Fridays from 9:00 a.m. to 12:00 noon.*

**Materials Surfaces and Corrosion (E, M. Rohwerder, M. Stratmann):** *The lecture introduces the field of metallic corrosion. It considers pure metals and alloys, highlighting protection methods and related surface technologies. A short introduction into the physics and chemistry of surfaces and into electrochemistry is given. Fundamental thermodynamic and kinetic corrosion aspects are discussed. Typical corrosion problems are*

und mögliche Gegenmaßnahmen aufgezeigt. Abschließend wird auf oberflächentechnische Maßnahmen zum Korrosionsschutz eingegangen. Die Vorlesung findet im Wintersemester mittwochs von 12:00 bis 15:00 Uhr als Blockveranstaltung statt. Termine werden rechtzeitig angekündigt.

*treated, and effective countermeasures are presented. An introduction into surface and coating technologies for corrosion protection is given. The class is held as a lecture block in the winter semester on Wednesdays from 12:00 noon to 3:00 p.m. The lecture will be announced in due time.*



**Bild 6.4:** Im Berichtszeitraum (Juni 2014) wurde Martin Stratmann, der am Institut für Werkstoffe die Korrosions- und Oberflächentechnik vertritt, zum Präsidenten der Max-Planck Gesellschaft berufen. **Fig. 6.4:** *In the reporting period (June 2014), Martin Stratmann, professor for Corrosion and Surface Science at our institute, took over as President of the Max Planck Society.*

**Ingenieurkeramik und Beschichtungstechnik (D, R. Vaßen):** Ziel dieser Vorlesung mit ihren zwei Schwerpunkten ist es, Ingenieur- und Mineralogiestudenten grundlegende und anwendungsrelevante Kenntnisse über keramische Strukturwerkstoffe und Beschichtungstechniken zu vermitteln. Im Gegensatz zur traditionellen Keramik (z. B. Steingut, Porzellan, etc.) sind die synthetisch hergestellten, dichten und hochfesten Struktur- bzw. Ingenieurkeramiken (z. B. Aluminiumoxid, Siliziumcarbid, etc.) Konstruktionswerkstoffe. Diese bieten dann Vorteile gegenüber Metallen, wenn hohe Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit, Hochtemperaturresistenz und geringe Dichte gefordert sind. Inhalte der Vor-

**Ceramics and Coating Technologies (G, R. Vaßen):** *The aim of this lecture is to familiarize advanced students from engineering and science fields with application-relevant knowledge that they need to understand processing, properties and life limiting processes of ceramic structural materials and components. While traditional ceramic (used in all households as stoneware, porcelain, etc.) is not subjected to severe service conditions, synthetically produced, dense and high-strength structural or engineering ceramics (for example aluminum oxide, silicon carbide, etc.) are heavy-duty construction materials. There are cases where they even outperform metals, especially in working environments where resistance against*



lesung sind die atomare Struktur keramischer Werkstoffe und die daraus resultierenden Eigenschaftsprofile sowie die Herstellung und Bearbeitung der handelsüblichen oxidischen und nichtoxidischen Strukturkeramiken. Vorgestellt werden Methoden zur Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften. Die beim Einsatz keramischer Werkstoffe im Maschinenbau zu berücksichtigenden Konstruktionsmerkmale werden herausgearbeitet. Funktionelle Beschichtungen werden in aller Regel auf Grundwerkstoffe aufgebracht, um deren Eigenschaften zu verbessern, das Anwendungsspektrum zu erweitern oder die Einsatzdauer zu verlängern. Dabei kann die Beschichtung vielfältige Schutzfunktionen erfüllen, die die Widerstände gegen Korrosion, Oxidation, Verschleiß und Erosion erhöhen. Die Schichten können auch thermisch isolieren (Wärmedämmung) und tragen so zu einer Verringerung thermischer Spannungen bei. Die Vorlesung vermittelt auch einen Einblick in verfahrenstechnische Aspekte von Beschichtungen. Neben Verfahren, bei denen aus der Gasphase abgeschieden wird (Physica Vapour Deposition / PVD und Chemical Vapour Deposition / CVD) werden auch thermische Spritzverfahren (Flamm-, Plasma, Lichtbogenspritzen u.a.) sowie elektrolytische, Tauch- und Auftragsschweiß-Verfahren behandelt. Die Vorlesung findet im Wintersemester als Blockveranstaltung statt und wird rechtzeitig angekündigt.

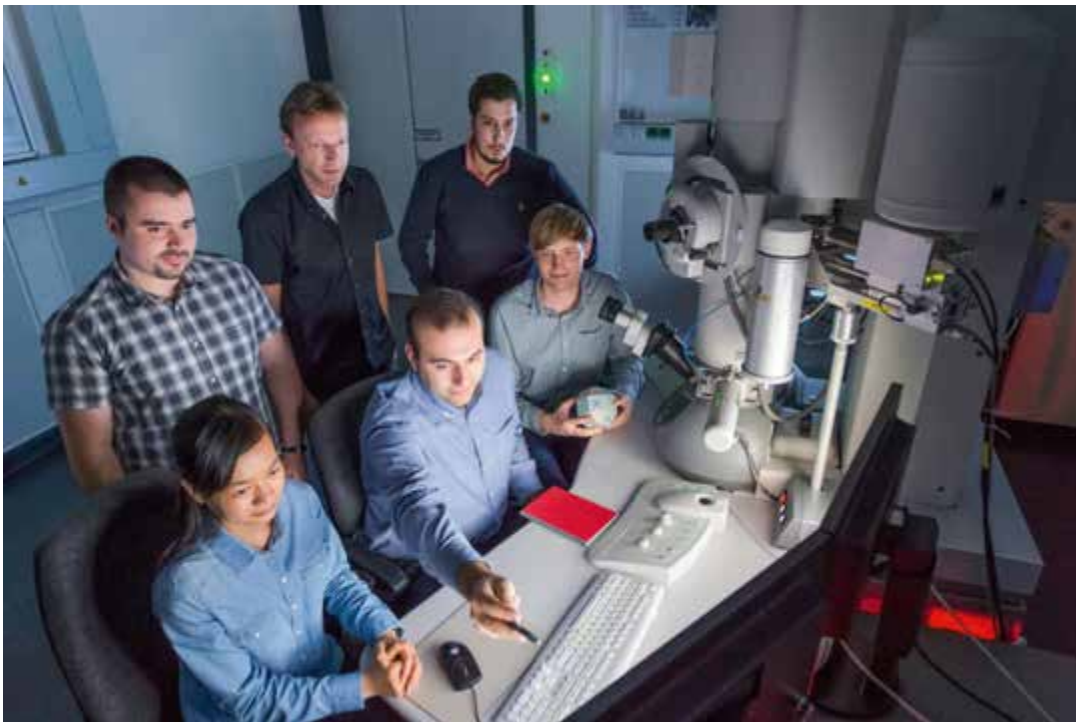
**Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) für Fortgeschrittene (E, G. Dehm):** Die Vorlesung beschäftigt sich zuerst mit dem Aufbau und der Funktionsweise moderner Durchstrahlungselektronenmikroskope (TEMs). Es werden die heute verwendeten Elektronenquellen besprochen. Die konventionelle Transmissionselektronenmikroskopie wird zuerst behandelt, bei welcher auch bereits Elektronenbeugungsmethoden zur Anwendung kommen. Dann werden hochauflösende analytische TEMs besprochen, bei denen ein Rastermodus (STEM) neue Möglich-

*corrosion attack and wear is required in combination with high-temperature stability and low density. Scale bridging material science characterizes today's ceramic research. It is important to understand the atomic structure of ceramic materials and to appreciate the steps required to process high-performance oxidic and non-oxidic ceramic components. Standard characterization and testing methods also receive due attention, with special emphasis placed on how materials data can be used for design. Base materials are coated to improve properties (like thermal isolation potential), to extend the application range (e.g. to higher temperatures) or to prolong the exploitable service life. A technical coating can combine various protective functions. It can enhance the corrosion resistance. At the same time, it can contribute to a better resistance against erosion and other types of wear loading. It can act as a thermal isolator and thus contribute to a decrease of thermal stresses. Typical examples of coatings and coated systems are presented together with their processing routes. These include methods based on physical and chemical vapor deposition (PVD and CVD) as well as thermal spray processes (flame, plasma, arc spraying, etc.) and other methods (electrolytic deposition, immersion procedures and overlay welding). The class is organized as a lecture block in the winter semester and will be announced in due time.*

**Transmission electron microscopy (TEM) for advanced students (E, G. Dehm):** The lecture introduces the design and experimental possibilities of modern transmission electron microscopes (TEMs). This includes an introduction of the functionality of electron sources in use today. The lecture explains the operation of a conventional TEM, focusing on the imaging and diffraction operational modes. Then high modern analytical high resolution TEMs are discussed, often benefiting from a scanning mode (STEM mode) that allows the im-

keiten eröffnet. Es werden die Grundlagen der elastischen und inelastischen Wechselwirkungen von Elektronenstrahlen mit Werkstoffen behandelt und die Bildentstehung im konventionellen und hochauflösenden TEM analysiert. Der Einfluss von Linsenfehlern auf die Abbildung wird erläutert und die heute möglichen Korrekturmaßnahmen für die sphärische Aberration durch  $C_s$ -Korrektoren besprochen. Das physikalische Konzept der Kontrasttransferfunktion und die Auflösungsgrenzen moderner TEMs stellen weitere Themenschwerpunkte der Vorlesung dar. Im Rahmen der Vorlesung wird die Interpretation von TEM-Abbildungen und die Auswertung von Beugungsaufnahmen vermittelt. Die Vorlesung findet im Wintersemester als Blockveranstaltung statt und wird rechtzeitig angekündigt.

*provement of image quality and easier access to local chemical information. The fundamentals of elastic and inelastic interactions between the electrons of the incoming electron beam and matter as well as the resulting mechanism of image formation in conventional and high resolution analytical TEMs are discussed. The limiting effect of lens aberrations are outlined, and today's possibilities of correcting the spherical aberration ( $C_s$ -corrector) are treated. The physical concept of the contrast transfer function and the resolution limits of modern TEM are further topics. The students learn to interpret TEM micrographs and to evaluate TEM diffraction patterns. The class is organized as a lecture block in the winter semester and will be announced in due time.*



**Bild 6.5:** Christoph Somsen mit Doktoranden und fortgeschrittenen Masterstudierenden am TEM. **Fig. 6.5:** Christoph Somsen together with doctoral researchers and master students at the TEM.

**Übungen zu TEM für Fortgeschrittene (E, C. Liebscher):** In den Übungen zu der Vorlesung *TEM für Fortgeschrittene* werden zu allen in der Vorlesung behandelten Themen Aufgaben gerechnet, mit dem

*Exercises associated with TEM for advanced students (E, C. Liebscher):* The problem-solving exercises that accompany the TEM lecture for advanced students, allow for deepening the understanding of

Ziel, das theoretisch Erlernte zu vertiefen. Dabei wird ein Schwerpunkt bei den Simulationsverfahren gesetzt, die aus der modernen Elektronenmikroskopie nicht mehr wegzudenken sind. Dazu gehören Programme, die beim Indizieren von Beugungsdiagrammen helfen, ebenso wie die Berechnung von Bildkontrasten und die Auswertung von Tomographiedaten. Die Übung findet im Wintersemester als Blockveranstaltung statt und wird rechtzeitig angekündigt.

### **Vorlesungen, die im Sommersemester gehalten werden:**

#### **Werkstoffwissenschaft (D, G. Eggeler):**

Es geht um den Zusammenhang zwischen dem Aufbau von Werkstoffen und deren Eigenschaften. Wir besprechen zunächst den Aufbau fester Stoffe. Wir machen dann deutlich, dass in kristallinen Werkstoffen Gitterfehler wie Leerstellen, Versetzungen und Grenzflächen eine wichtige Rolle spielen. Wir besprechen thermodynamische und kinetische Aspekte, die die Entwicklung der Mikrostruktur bei der Herstellung von Werkstoffen und deren Veränderung beim Werkstoffeinsatz bestimmen. Dazu müssen wir Zustandsdiagramme theoretisch begründen und uns Klarheit über die Natur von Triebkräften für Reaktionen in und an festen Stoffen verschaffen. Wir brauchen ein Verständnis der Beweglichkeit von Atomen im Festkörper und besprechen deshalb physikalische und phänomenologische Aspekte der Diffusion. Wir wenden unsere Kenntnisse dann auf Reaktionen von Metallen mit heißen Gasen, das Erstarren von Schmelzen, das Sintern, die Ausscheidung aus übersättigten Mischkristallen, die Ostwaldreifung, die Segregation an Grenzflächen und die martensitische Umwandlung an. Dann beschäftigen wir uns mit mechanischen Eigenschaften, wobei werkstoffspezifische Aspekte und das Verstehen von elementaren Verformungs- und Schädigungsprozessen im Vordergrund stehen. Wir besprechen die Grundlagen der Elastizität, der Anelastizi-

*theoretical concepts presented in the lecture. Special emphasis is placed on simulation methods, which today accompany almost all TEM procedures. They include programs for indexing diffraction patterns and others that help in quantitatively interpreting contrasts. Moreover, 3D tomography methods are discussed, and new TEM research results are presented and discussed. The exercise takes place in the winter semester and will be announced in due time.*

### **Classes held in the summer semester:**

**Materials Science (G, G. Eggeler):** *The lecture covers the relations between the microstructure of materials and their properties. It starts with the discussion of the crystalline and amorphous nature of solids. The importance of lattice defects (vacancies, dislocations and internal interfaces) is highlighted. Basic thermodynamic and kinetic concepts that are needed to understand the evolution of microstructures are discussed. This requires a solid understanding of the physical interpretation of phase diagrams and of thermodynamic driving forces governing all reactions in and at solids. Diffusion processes play a key role in this respect and are discussed from a phenomenological (solutions of Fick's second law) and from a fundamental point of view (physical background of atomic mobility). The basic concepts are applied to reactions of metals with gases, to the solidification of melts, to processes like the sintering of powder mixtures or precipitation processes from oversaturated solid solutions. Ostwald ripening, the coarsening of particle populations driven by interfacial energies, the segregation of impurity atoms to interfaces and the martensitic transformation also receive due attention. The second part of the lecture looks at the response of materials to mechanical loading. Elementary deformation and damage processes in engineering materials are discussed, after the fundamentals were introduced (elasticity,*



tät, der Plastizität, der Bruchmechanik, der Ermüdung, des Kriechens und des Werkstoffverschleißes. Dabei schlagen wir immer die Brücke zwischen der Mikrostruktur von Werkstoffen und deren mechanischen Eigenschaften. Die Vorlesung findet im Sommersemester montags von 14.00 bis 15.30 Uhr und mittwochs von 13.00 bis 14.30 Uhr statt.

*inelasticity, plasticity, recovery and recrystallization, creep, fracture mechanics, fatigue and wear). Throughout, the macroscopic mechanical behaviour is discussed on the basis of the underlying atomistic and microstructural processes. The lecture is held in summer on Mondays/Wednesdays from 2:00 to 3:30 p.m / 1:00 to 2:30 p.m.*



**Bild 6.6:** Das Institut für Werkstoffe vermittelt in der Lehre auch praktische Fertigkeiten, wie sie im Labor und in der Fertigung gebraucht werden. **ig. 6.6:** *At the Institute for Materials, students can acquire practical skills needed in research labs and in production processes.*

**Elektronenmikroskopie und Röntgenbeugung (D, C. Somsen):** Der Einsatz der Röntgenbeugung und der Rasterelektronenmikroskopie (REM) erlaubt, Mikrostrukturen von Werkstoffen quantitativ zu beschreiben. Mit Hilfe dieser beiden Methoden kann man (i) kristalline Substanzen identifizieren und Phasenanteile in mehrphasigen Werkstoffgefügen ermitteln, (ii) Texturen bestimmen und (iii) kleine Teilchen (z. B. Karbide) abbilden und chemisch analysieren. Mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie lassen sich auch Bruchflächen untersuchen, um Versagensursachen zu identifizieren. Grundlage für beide Verfahren ist die Beugung von Elektronen bzw. Röntgenstrahlung an Kristallen. Im REM-Teil der Vorlesung werden die Kontrastentstehung und die chemische Analyse im REM (EDX) behandelt. Im Röntgenteil werden die wichtigsten werkstoffwissenschaftlichen Verfahren (Pulverdiffraktometrie, Laue-Verfahren, Eigenspannungsmessung und Texturanalyse) besprochen. Demonstrationen an einem modernen REM und an einem modernen Röntgengerät ergänzen die in der Vorlesung vermittelten theoretischen Grundlagen. Die Vorlesung findet im Sommersemester donnerstags von 13.00 bis 16.00 Uhr statt.

**Fortgeschrittene Methoden der Charakterisierung von Werkstoffen (E, G. Eggeler, J. Frenzel, C. Somsen, T. Li):** Es werden zunächst wichtige Aspekte des kristallinen und amorphen Aufbaus der festen Materie wiederholt. Es folgt ein Überblick über die Wechselwirkung von Elektronenstrahlen mit Materie, wobei Sekundärelektronen, rückgestreute Elektronen, elastisch und inelastisch gestreute Elektronen sowie die Entstehung charakteristischer Röntgenstrahlung, die für die chemische Analyse wichtig sind, besprochen werden. Es werden die physikalischen Ursachen von Bildkontrasten im Raster- und im Durchstrahlungselektro-

**Electron Microscopy and X-Ray Diffraction (G, C. Somsen):** *The use of X-ray diffraction and scanning electron microscopy (SEM) allows (i) for the identification of crystalline substances and the volume fractions of phases in multiphase materials, (ii) for the determination of textures (e.g. textures associated with solidification processes and thermo-mechanical treatments) and (iii) for imaging, chemically analysing and crystallographically identifying small particles (e.g. carbides). SEM also enables the study of rupture surfaces to identify the origin of material failures. In both methods, SEM and X-ray analysis, the interaction of particle waves with crystals plays a key role. The lecture covers the physical background of different types of SEM contrasts and provides an introduction to one of the key methods for local chemical analysis in the SEM, the energy dispersive spectroscopy of X-rays. In the X-ray part of the lecture, the well-established standard methods are presented (Laue method, internal stresses measurement and texture analysis). During a visit to an SEM and a state-of-the-art X-ray diffractometer in the laboratory of the Institute for Materials students come into first direct contact with these two key methods for materials characterization. The lecture is held in the summer semester on Thursdays from 1:00 to 4:00 pm.*

**Advanced Characterization Methods (E, G. Eggeler, J. Frenzel, C. Somsen, T. Li):** *To start off with, the lecture reviews important aspects of the atomic configurations in amorphous and crystalline solids. It then considers the interaction of electrons with solids, discussing electron beams and highlighting the significance of secondary electrons, back-scattered electrons, elastically and inelastically scattered electrons and the origin of characteristic X-rays that are used for chemical analysis in electron microscopy. The physical origin of image contrasts in the scanning and the transmission electron microscope are discussed. Special*

nenmikroskop besprochen. Besonderes Gewicht wird auf die Entstehung von Kikuchi-Linien (KL) gelegt. Im Falle der Rasterelektronenmikroskopie wird in diesem Zusammenhang das EBSD/OIM-Verfahren besprochen (Electron Back Scatter Diffraction, Orientation Imaging). Im Falle der Durchstrahlungselektronenmikroskopie wird vermittelt, wie man KL-Muster als kristallographische Landkarten benutzt, um Kristalle zu orientieren und um definierte Zweistrahlfälle einzustellen. Vor diesem Hintergrund werden stereographische 3D-Methoden im TEM besprochen. Zusätzlich wird eine Einführung in die Atomsonden-Tomographie (APT) gegeben, und es wird erläutert, wie APT, EBSD und TEM korreliert werden können, um komplementäre Informationen über die Mikrostruktur zu erhalten. Die Vorlesung findet im Sommersemester freitags statt (15:00 bis 18:00 Uhr).

**Polymere und Formgedächtnislegierungen (D, K. Neuking, B. Maaß):** Das Vorlesungsmodul wendet sich an Studierende im Bachelor-Studiengang. Im Polymerteil wird der makromolekulare Aufbau von Polymerwerkstoffen im Detail betrachtet, wobei auch wichtige Charakterisierungsmethoden wie die Durchlichtmikroskopie und die IR-Spektroskopie behandelt werden. Auf spezielle Verfahren zur Erfassung der mechanischen Eigenschaften von Polymeren wird eingegangen. Schließlich geht es um das Messen und die Interpretation der besonderen mechanischen und funktionellen Eigenschaften von Polymeren; es werden das viskose Fließen, Dämpfungseigenschaften, die Entropieelastizität und der Formgedächtniseffekt der Polymere besprochen. Außerdem werden polymere Werkstoffsysteme behandelt, die besondere Eigenschaften aufweisen, wie z. B. die faserverstärkten Polymere oder Polymere für den Einsatz bei hohen Temperaturen. Im Formgedächtnisteil der Vorlesung werden die metallphysikalischen und kristallographischen Grundlagen der mar-

*emphasis is placed on the formation of Kikuchi line diffraction patterns. In scanning electron microscopy, Kikuchi lines are used for all orientation imaging techniques (OIM /EBSD) by which we can determine the orientation of grains and measure textures. In the case of transmission electron microscopy, Kikuchi line diffraction patterns are used as crystallographic maps that enable orienting single crystals. It will be explained how two beam diffraction contrasts can be obtained, and a brief introduction to stereographic 3D methods in scanning and transmission electron microscopy will be given. Furthermore, an introduction to atom probe tomography (APT) is given. and it will be demonstrated how APT can be correlated with EBSD and TEM to provide complementary information on microstructure. The lecture is held in the summer semester on Fridays (3:00 to 6:00 p.m).*

**Polymers and Shape Memory Alloys (G, K. Neuking, J. Frenzel):** *This advanced lecture module addresses master students from the ICAMS master course MSS. In the part of the lecture on polymers, the macromolecular architecture of polymers is considered in detail. Important characterization methods such as the transmission optical microscopy and IR spectrometry are introduced. Special mechanical test procedures, including thermo-mechanical analyzers are discussed and special mechanical properties of polymers are highlighted. Special emphasis is placed on how the unique structural and functional properties of polymers are measured. The viscous flow and damping potential are treated, and the fascinating entropy elasticity receives full attention. The shape memory effect in polymeric materials is also given attention. Fiber-reinforced polymers and polymers for high-temperature applications are also introduced. The second part of the lecture considers shape memory alloys. It starts with the coverage of basic physical and microstructural mechanisms governing*



tensitischen Umwandlung zunächst ausführlich behandelt. Dazu gehört insbesondere eine genaue Betrachtung wichtiger thermodynamischer, kinetischer und mechanischer Aspekte. Es werden außerdem aktuelle Themen der Formgedächtnisforschung behandelt, zu denen moderne Herstellungsmethoden, die funktionelle und strukturelle Ermüdung von Formgedächtnislegierungen sowie die Entwicklung neuer FG-Legierungen (mit kleinen Hysteresen oder mit hohen Umwandlungstemperaturen) gehören. Die Vorlesung findet im Sommersemester donnerstags von 10.00 bis 13.00 Uhr statt.

**Werkstoffwissenschaft: Geschichte, Stoffkreisläufe und Festkörperreaktionen (D, G. Eggeler, G. Laplanche):** Das Modul gehört zum Programm des neuen Bachelorstudiengangs *Materialwissenschaft*. Er besteht aus zwei Teilen. Im ersten Teil geht es um die Geschichte der Wissenschaft von den Werkstoffen. Hier werden einige wichtige technische und wissenschaftliche Entwicklungen erläutert und die gesellschaftlichen Folgen diskutiert. Dann werden Stoffkreisläufe besprochen, die mit der Verfügbarkeit von Ressourcen und der Herstellung von Halbzeugen beginnen und bei dem Recycling von Produkten nach Verbrauch der technisch nutzbaren Lebensdauer enden. Es wird gezeigt, welchen Beitrag die Wissenschaft der Werkstoffe zur Lösung der großen Herausforderungen der Menschheit leisten kann (Energie, Verkehr, Umwelt und Gesundheit). Im zweiten Teil werden Festkörperreaktionen besprochen, die die Wissenschaft von den Werkstoffen prägen. Sie spielen bei der Reduktion von Erzen eine Rolle, sie bestimmen die Strukturbildungsprozesse bei der Wärmebehandlung und sie geben die Rahmenbedingungen für die Reaktion von Werkstoffen mit Gasen und Schmelzen vor. An ausgewählten Beispiel (Hochofen, Erstarren von Schmelzen, additive Fertigung, ...) wird die Rolle der Thermodynamik (Treibkräfte, Löslichkeiten) und

*the martensitic transformation, a diffusionless transformation between a high-temperature (austenite) and low-temperature phase (martensite). Basic physical, microstructural and mechanical aspects are discussed. Advanced topics from the areas of alloy design, high-temperature shape memory alloys, ferroic cooling and functional fatigue are introduced. Parameters, which govern the widths of thermal and mechanical hysteresis, receive attention. Special emphasis is placed on advanced processing technologies. The classes are held in the summer semester on Wednesdays from 10:00 a.m to 1:00 p.m.*

**Materials Science: History, Cycle of Materials and Solid State Reactions (G, G. Eggeler, G. Laplanche):** *This module is part of the new bachelor program Materials Science and consists of two parts. The first part deals with the history of materials science and technology. Important technological developments that influenced mankind, and scientific discoveries that led to progress are analyzed. Examples of the strong impact of materials research on society are given. Then materials cycles are analyzed, starting with the availability of resources and raw materials and ending with options for the recycling of components once they have reached the end of their exploitable service life. The role that materials science and technology can play in addressing the grand challenges of mankind (energy, traffic, environment and health is also discussed). The focus of the second part of the lecture is on solid-state reactions and the key role they play in materials science and engineering. This starts with the reduction of ores when making Fe and Al. Solid-state reactions govern the evolution of microstructure during heat treatments and the kinetics of the reaction of materials with gases and melts. A number of examples from different fields (blast furnace, solidification of melts, additive manufacturing) are used to illustrate the importance of thermodynam-*

der Kinetik (atomare Beweglichkeiten, diffusionskontrollierte Reaktionen, Reaktionen an Grenzflächen) analysiert. Die Studierenden lernen, dass Geschwindigkeiten von Reaktion immer sowohl von Triebkräften als auch von Beweglichkeiten abhängen.

**Fundamental Aspects of Materials Science and Engineering (FAMSE) (E, G. Eggeler, A. Ludwig):** In dieser Vorlesung sollen wichtige materialwissenschaftliche Grundlagen wiederholt, vertieft und erweitert werden. Hier gilt der Thermodynamik der Legierungsbildung und der Phasenumwandlungen besonderes Interesse. Gleichzeitig sollen Forschungsfelder vorgestellt werden, die am Institut für Werkstoffe aktuell bearbeitet werden. Behandelt werden Superlegierungen, Hochentropielegierungen, intermetallische Phasen und Formgedächtnislegierungen. Dabei werden auch die modernen Methoden wie die kombinatorische Materialforschung besprochen. Die Vorlesung vertieft Themen aus den Bereichen Thermodynamik der Mischphasen und der Phasenumwandlungen, ternäre Zustandsdiagramme, Kriechen, Bruchmechanik und Ermüdung und wendet sie auf moderne Struktur- und Funktionswerkstoffe an. Die Vorlesung findet im Sommer dienstags von 13.00 – 16.00 Uhr statt.

**Leichtmetalle (D, B. Skrotzki):** Die Vorlesung *Leichtmetalle* vermittelt Grundkenntnisse über die wichtigsten metallischen Leichtbauwerkstoffe, Aluminium, Magnesium und Titan. Die Grundlagen dieser drei Metalle und ihrer Legierungen werden behandelt und Möglichkeiten zur Festigkeitssteigerung betrachtet. Es wird die Ausscheidungshärtung besprochen, die vor allem für Aluminiumlegierungen und für Magnesiumlegierungen von großer Bedeutung ist. Wichtige Merkmale dieser Werkstoffe, wie z. B. die mechanischen Eigenschaften und das Korrosionsverhalten werden behandelt. Das Fügen wird angesprochen und die dabei auftretenden Probleme diskutiert. Es folgt die Vorstellung wichtiger Legierungsvertreter

*ics (driving forces and solubilities) and kinetics (mobilities of atoms, diffusion-controlled reactions, interface reactions). The students learn that – when discussing reaction rates – both driving forces and mobilities are important.*

**Fundamental Aspects of Materials Science and Engineering (FAMSE) (E, G. Eggeler, A. Ludwig):** *In this lecture we repeat, deepen and widen basic knowledge with special emphasis placed on advanced functional and structural materials and on modern methods of materials science. It introduces a few advanced topics such as combinatorial materials research. We discuss material systems that are presently in the focus of interest: single crystal superalloys, high-entropy alloys, intermetallic phases and shape memory alloys. At the same time, the students gain insight into advanced materials research methods such as thin film combinatorial materials research. Fundamental knowledge from the fields of solid-state thermodynamics, ternary phase diagrams, creep, fracture mechanics and fatigue is briefly summarized and applied to advanced state-of-the-art structural and functional materials. The class is taught in the summer on Tuesdays from 1:00 to 4:00 p.m.*

**Light Metals (G, B. Skrotzki):** *The class Light Metals introduces the three most important low-density metallic systems: aluminum, magnesium and titanium. The basics of the ingot and powder metallurgy of these three metals and their alloys are treated, with a special focus on alloying and heat treatment procedures that help to increase their strength. The evolution of microstructures, especially precipitation strengthening, which is of utmost importance for technical applications, are dealt with. Important material properties such as mechanical strength (yield stress, fracture toughness) and corrosion resistance are introduced. Joining methods are discussed, considering the possibilities they open and the challenges they*

mit Beispielen aus typischen Einsatzgebieten. Abschließend erfolgt eine Darstellung der Werkstoffentwicklungen auf diesem Gebiet. Die Vorlesung findet im Sommersemester als Blockveranstaltung statt und wird rechtzeitig angekündigt.

**Mechanische Eigenschaften in kleinen Dimensionen (E. G. Dehm, MPIE):**

Mechanisches Verhalten von kleinen Materialvolumina ist sowohl in Fällen relevant, in denen kleine Materialvolumen zum Einsatz kommen (z. B. dünne Schichten) als auch dort, wo Massivmaterialien kleine Materialbereiche aufweisen, die in besonderer Weise das mechanische Verhalten prägen (z. B. nanokristalline Werkstoffe). Es wird auf die Herstellung und Charakterisierung mikro- und nanoskaliger Werkstoffe eingegangen. Ursachen für das Auftreten von Spannungen werden besprochen und Methoden zur Messung dieser Spannungen vorgestellt. Dann werden die Verformungsmechanismen behandelt (Versetzungplastizität, Zwillingsbildung, Diffusionskriechen), die das mechanische Verhalten kleinster Materialvolumina prägen. Weiter werden Konzepte zur Festigkeitssteigerung und zur Erhöhung der Bruchfestigkeit von mikro- und nanoskaligen Werkstoffen vorgestellt. Behandelt werden auch Größeneffekte, die man bei allen mechanischen Eigenschaften (Fließspannung, Bruchzähigkeit, Ermüdungsfestigkeit) beobachtet. Die Vorlesung findet im Sommersemester als Blockveranstaltung statt und wird rechtzeitig angekündigt.

**Modul T2 des Lehrplans der Internationalen Max-Planck Research School for Interface Controlled Materials for Energy Conversion (IMPRS SurMat): Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften:** Die IMPRS-SurMat ist eine Doktorandenschule, die Studierenden mit Masterabschluss aus aller Welt die Möglichkeit bietet, in einer hochklassigen wissenschaftlichen Umgebung mit Themen zu grenzflächendominierten Materialeigenschaften zu promovieren. Der

*pose. A few important alloy systems are presented, and subsequently actual alloy development activities are introduced. The lecture is held in the summer semester and is organized as a block course; it will be announced in due time.*

***Mechanical Properties of Small Scale Systems (E. G. Dehm, MPIE):*** *The mechanical properties of small material volumes are important in applications in which small material volumes must withstand mechanical loads (such as thin film systems). They are also important for bulk materials that are dominated by nanoscale sub regions (e.g. nanocrystalline materials). An overview is given of the processing of small-scale specimens and their characterization. The presence of system stresses in small-scale systems is discussed, and methods to measure these stresses are presented. Special emphasis is placed on elementary deformation mechanisms (e.g. dislocation plasticity, mechanical twinning, diffusional creep) that govern the mechanical behavior of small-scale systems. Materials science concepts for increasing yield strength and fracture toughness of micro-scale and nano-scale materials are treated. Size effects that are observed for all mechanical key properties (yield stress, nucleation and growth of cracks, fracture toughness and fatigue resistance) receive special attention. The lecture is organized in the summer semester. It is given as a block course and will be announced in due time.*

***Module T2 of the curriculum of the International Max Planck Research School for Interface Controlled Materials for Energy Conversion (IMPRS SurMat): Microstructure and Mechanical Properties:*** *IMPRS-SurMat is a graduate school where international students holding a master's degree have the opportunity to obtain a PhD in a first-class scientific environment in which topics related to surface-dominated material properties are the center of interest. The curricu-*



Lehrplan sieht fünf Sommer-/Winterseminare vor, die jeweils in den vorlesungsfreien Zeiten zwischen den Semestern gehalten werden. Im Modul T2 geht es um Mikrostrukturen und mechanische Eigenschaften. Es werden folgende Themen behandelt:

- Grundlagen der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften (G. Eggeler)
- Elemente der Mikrostruktur / Rasterelektronenmikroskopie (J. Frenzel)
- Defektanalyse mittels Transmissionselektronenmikroskopie (C. Somsen)
- Mikrostrukturelle Charakterisierung mittels 3D-Atomsondentomographie (Tong Li)
- Standardverfahren zur Ermittlung mechanischer Eigenschaften (K. Neuking)
- Experimentelle Mikromechanik (J. Pfetzinger-Micklich)

*lum consists of five summer and winter seminars, which are organized in the breaks between the semester periods. Module T2 (taught in turn with Profs. D. Raabe and G. Dehm, MPIE) addresses microstructures and mechanical properties. The topics are:*

- *Fundamental relations between microstructure and mechanical properties (G. Eggeler)*
- *Elements of microstructure/scanning electron microscopy (J. Frenzel)*
- *Defect analysis by transmission electron microscopy (C. Somsen)*
- *Microstructural characterization by 3D-atom probe tomography (Tong Li)*
- *Standard test techniques for obtaining mechanical properties (K. Neuking)*
- *Experimental micromechanics (J. Pfetzinger-Micklich)*



**Bild 6.7:** Koordinatoren der IMPRS SurMat: Elke Gattermann (Leitung, MPIE) und Christoph Somsen (RUB-Kontakt).

**Fig. 6.7:** *Coordination of the IMPRS SurMat: Elke Gattermann (Manager, MPIE) and Christoph Somsen (RUB contact).*

## 7. Akademische Abschlüsse

In diesem Abschnitt listen wir alle akademischen Abschlüsse auf, die am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft erarbeitet wurden. Leider können wir hier nicht die Kurzfassungen aller Arbeiten mitliefern, weil dies den Umfang unseres Berichts sprengen würde. Zu jeder Arbeit geben wir einen deutschen und einen englischen Titel an. Der Originaltitel der Arbeit erscheint normal gedruckt, der jeweils übersetzte Titel in kursiver Schrift.

### Habilitation

#### Dr.-Ing. Jan Frenzel

Werkstoffprocessing und werkstoffwissenschaftlicher Erkenntnisgewinn - Fallstudien zur Erforschung mikrostruktureller Elementarprozesse

2019

## 7. Academic Degrees

*In this section, we summarize all academic degrees that were obtained at the Chair for Materials Science and Engineering. We had to keep this report within a reasonable size and therefore do not provide an abstract for each thesis. In each case, a German and an English title are given. The original title of each thesis is written in regular letters, the corresponding translated title appears in italic.*

### Habilitation

*Materials processing and progress in materials science – case studies addressing elementary microstructural processes*



**Bild 7.1:** Lehrstuhlmitglieder bei der Habilitation von Jan Frenzel, September 2019.

*Fig. 7.1:* Get together after Jan Frenzel's habilitation in September 2019.

**Doktorarbeiten*****Dr.-Ing. Degrees*****Dr.-Ing. Philipp Nörtershäuser**

Anisotropes Kriechen der einkristallinen Nickelbasis-Superlegierung LEK94 bei Temperaturen um 1000°C	2012	<i>Anisotropic creep of the single crystal superalloy LEK94 at temperatures around 1000°C.</i>
--	------	--

**Dr.-Ing. Andreas Schäfer**

Werkstoffwissenschaftliche Untersuchung zur Bildung und Wachstum von Martensit in NiTi-Formgedächtnislegierungen unter Spannung	2012	<i>On the influence of an external stress on the nucleation and growth of martensite in NiTi shape memory alloys</i>
---	------	--

**Dr.-Ing. Timo Depka**

<i>Neue Co-Re Hochtemperaturlegierungen – eine erste Untersuchung von Mikrostruktur und Eigenschaften</i>	2012	Co-Re-based alloys – a first assessment of creep properties and microstructural evolution at high temperatures
---	------	--

**Dr.-Ing. Burkhard Maaß**

Strukturbildungsprozesse bei der schmelzmetallurgischen Herstellung und funktionelle Eigenschaften pseudoelastischer NiTiCu(X)-Formgedächtnislegierungen	2012	<i>Microstructural evolution during ingot metallurgy processing of pseudoelastic NiTiCu(X) shape memory alloys and effect of microstructure on functional properties</i>
--	------	--

**Dr.-Ing. Mustafa Rahim**

Einfluss von Verunreinigungen auf das Ermüdungsverhalten von pseudoelastischen NiTi-Formgedächtnislegierungen	2013	<i>On the influence of impurities on the high cycle fatigue life of pseudoelastic NiTi shape memory alloys</i>
---	------	--

**Dr.-Ing. Jenna-Kathrin Heyer**

Mikroscherversuche an Au-Einkristallen	2014	<i>Micro shear testing of Au single crystals</i>
--	------	--

**Dr.-Ing. Stefanie Jaeger**

Modellierung thermisch induzierter Martensit-Austenit-Umwandlungen in NiTi-Legierungen	2014	<i>Modelling of thermally induced austenite-martensite transformations in NiTi shape memory alloys</i>
--	------	--



**Dr.-Ing. Safa Mogharebi**

Ermittlung struktureller und funktioneller Eigenschaften von Formgedächtnispolymeren unter besonderer Berücksichtigung des Spritzgießprozesses

2014

*Structural and functional fatigue of shape memory polymers with a focus on the parameters of extrusion processing*

**Dr.-Ing. Christopher Rynio**

Mechanische und mikrostrukturelle Untersuchungen zum Hochtemperaturverchleiß von Ventilen für Dieselmotoren

2014

*Mechanical and microstructural analysis of high temperature wear of valve materials for diesel engines*



**Bild 7.2:** Nach der Doktorprüfung von Christopher Rynio.

*Fig. 7.2: After the PhD exam of Christopher Rynio.*

**Dr.-Ing. Thorsten Birk**

Untersuchung zur Zwillingselastizität in NiTi(Cu)-Formgedächtnislegierungen

2015

*Twinning elasticity in superelastic NiTi(Cu)-shape memory alloys*

**Dr.-Ing. Hinrich J. Buck**

Werkstoffwissenschaftliche Untersuchung zur Bildung und zum Wachstum von Poren bei der Herstellung und beim Kriechen einkristalliner Nickelbasis-Superlegierungen

2015

*Fundamental study of the nucleation and growth of pores during processing and creep of single crystal Ni-base superalloys*

**Dr.-Ing. Alireza Basir Parsa**

*Zum Einfluss von Versetzungen auf die Entwicklung der Mikrostruktur beim Kriechen einkristalliner Superlegierungen mit  $\gamma/\gamma'$ -Mikrostrukturen*

2015

The role of dislocations in the microstructural evolution during creep of single crystal superalloys with  $\gamma/\gamma'$  microstructures

**Dr.-Ing. Shirin Fahimi**

*REM-Untersuchungen der Entwicklung der Mikrostruktur martensitischer Cr-Stähle bei Kriechverformung und Kriechbruch*

2015

Quantitative SEM analysis of the evolution of microstructures in tempered martensite ferritic steels during creep deformation and fracture

**Dr.-Ing. Ramona Rynko**

Mikrostrukturelle Untersuchungen von thermisch und thermomechanisch induzierten Strukturbildungsprozessen in Ti-Ta Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen

2015

*Microstructural analysis of thermally and thermo mechanically induced phase transformations in TiTa high-temperature shape memory alloys*

**Dr.-Ing. Hongcai Wang**

*Wie Bor die Bildung und die Stabilität von Karbiden in angelassenen martensitischen Stählen beeinflusst*

2015

The Effect of Boron on Carbides in Tempered Martensite Ferritic Steels



**Bild 7.3:** Ramona Rynko am TEM.

**Fig. 7.3:** Ramona Rynko working at the TEM.

**Dr.-Ing. Alexander Martin Matz**

Werkstoff- und morphologieabhängige Einflüsse auf die mechanischen Eigenschaften von offenporigen Al-11Zn-Schäumen	2016	<i>On the effect of alloy composition, microstructure and morphology on the mechanical properties of open pore Al-11Zn foams</i>
--	------	--

**Dr.-Ing. André Wiczorek**

Werkstoffwissenschaftliche Untersuchungen zum Kühlen mit Formgedächtnislegierungen	2016	<i>Exploring the cooling potential of pseudoelastic shape memory alloys</i>
--	------	---

**Dr.-Ing. Nikolai Wiczorek**

Mikromechanische Untersuchungen zum Verhalten von Werkstoffen unter Scherbeanspruchung - in situ Versuche im Rasterelektronenmikroskop	2016	<i>Micromechanical investigations of the micro shear behavior of engineering materials – in-situ experiments in the SEM</i>
--	------	---

**Dr.-Ing. Xiaoxiang Wu**

<i>Elementare Verformungsprozesse während des Kriechens einkristalliner Ni-Basislegierungen bei niedrigen Temperaturen und hohen Spannungen</i>	2016	Elementary deformation processes during low temperature and high stress creep of Ni-base single crystal superalloys
---	------	---

**Dr.-Ing. Philipp Hallensleben**

Untersuchungen zur Entwicklung von Mikrostrukturen und Defekten bei der einkristallinen Erstarrung von Nickelbasis-Superlegierungen	2017	<i>Analysis of microstructural evolution during the solidification of single crystal Ni-base superalloys with a focus on the formation of defects</i>
---	------	---

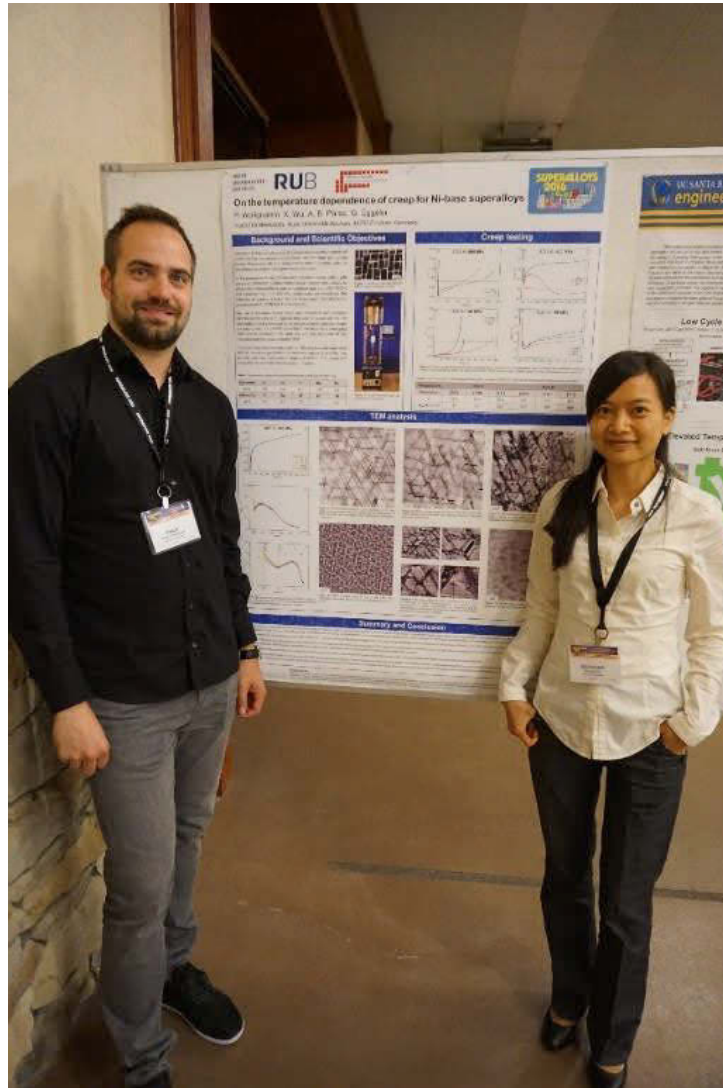
**Dr.-Ing. Philip Wollgramm**

Anisotropie des einachsigen Kriechens einkristalliner Superlegierungen im Temperaturbereich von 720 bis 1080°C	2017	<i>The creep anisotropy of single crystal superalloys in the temperature range between 720 and 1080°C</i>
--	------	---

**Dr.-Ing. Hannah Sommer**

Strukturbildungsprozesse bei Wärmebehandlungen und beim Kriechen polykristalliner Nickel-Basis-Superlegierungen	2018	<i>Microstructural evolution during heat treatments and creep of polycrystalline Ni-base superalloys</i>
---	------	--





**Bild 7.4:** Xiaoxiang Wu und Philip Wollgramm auf der Superalloys 2016 in Seven Springs, USA. **Fig. 7.4:** Xiaoxiang Wu and Philip Wollgramm at Superalloys 2016 in Seven Springs, United States.

### **Dr.-Ing. David Bürger**

Elementare Verformungsmechanismen und Kriechanisotropie einkristalliner Nickelbasis-Superlegierungen - Mechanische und mikrostrukturelle Charakterisierung im Bereich um 750 °C 2019

*Elementary deformation processes and creep anisotropy – A microstructural and mechanical analysis of Ni-base single crystal superalloys*

### **Dr.-Ing. Lijie Cao**

Zum Einfluss eines mehrachsigen Spannungszustands auf die Entwicklung der Mikrostruktur beim Kriechen einer Ni-Basis Superlegierung 2019

On the Effect of Stress Multiaxiality on Microstructural Evolution during Creep of Ni-base Single Crystal Superalloys

**Dr.-Ing. Dennis Langenkämper**

Mikrostrukturelle Untersuchungen zur Phasenstabilität und zum Oxidationsverhalten im System Ti-Ta	2019	<i>Microstructural analysis of phase stabilities and oxidation resistance in Ti-Ta shape memory alloys</i>
---	------	--

**Dr.-Ing. Axel Marquardt**

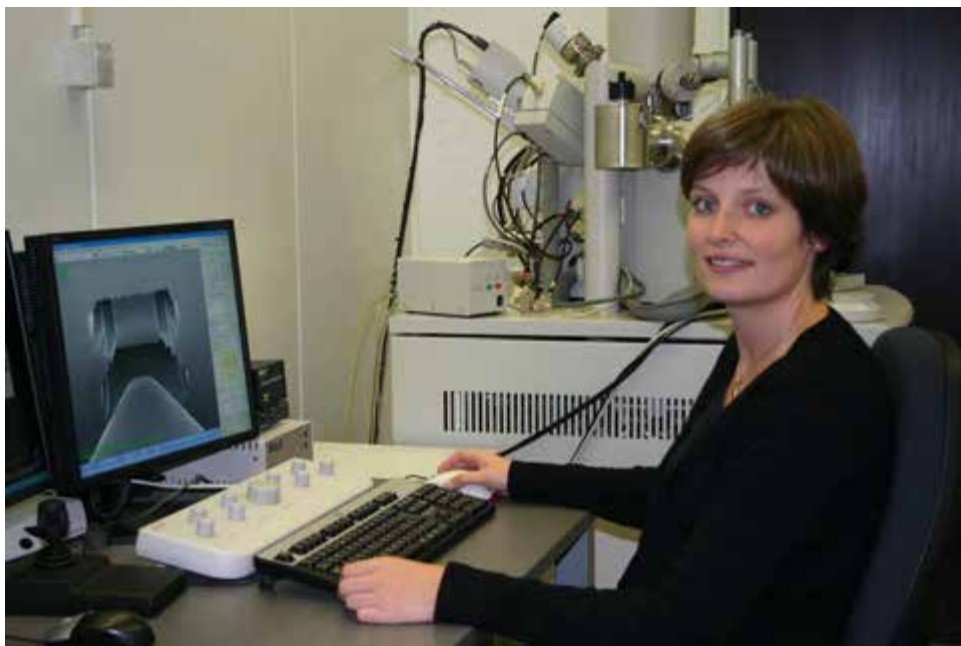
Zur chemomechanischen Kopplung in Formgedächtnispolymeren – Änderung der funktionellen Eigenschaften bei der Eindiffusion kleiner Moleküle	2019	<i>Chemo mechanical coupling phenomena in a shape memory polymer – How the uptake of small molecules affects functional properties</i>
--	------	--

**Dr.-Ing. Alexander Paulsen**

Herstellung und Eigenschaften von Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen auf Basis von Titan-Tantal	2019	<i>Processing and property assessment of TiTa based high temperature shape memory alloys</i>
---	------	--

**Dr.-Ing. Pascal Thome**

Weiterentwicklung der orientierungsabbildenden Rasterelektronenmikroskopie zur Klärung offener Fragen im Bereich der Martensitbildung und des Herstellens einkristalliner Ni-Basis Superlegierungen	2019	<i>Using high-resolution orientation imaging scanning electron microscopy to contribute to open questions in the fields of martensitic transformations and dendritic solidification</i>
---	------	---



**Bild 7.5:** Jenna Heyer führt in-situ-Mikroscherversuche an Gold-Einkristallen durch.  
*Fig. 7.5: Jenna Heyer performing in-situ micro shear experiments on Au single crystals.*

**Master-Arbeiten***Master degrees***Superlegierungen und andere Hochtemperaturwerkstoffe***Superalloys and other high-temperature materials*

MSc. Shirin Fahimi (2013), MSc. Carsten Bonnekoh (2013), MSc. Robert Schulz (2014), MSc. David Bürger (2015), MSc. Mark Hilleringmann (2015), MSc. Soheyl Mogharebi (2015), MSc. Daniel Stibe (2016), MSc. Eugen Ziselski (2016), MSc. Mustafa Cevik (2017), MSc. Oliver M. Horst (2017), MSc. Julian Hunfeld (2017), MSc. Frankel Maci (2017), MSc. Daniel Kotzem (2018), MSc. Mengyan Tian (2018), MSc. Jan Wunderlich (2019), MSc. Sadaf Hakimzada (2019), MSc. Larissa Heep (2019), MSc. Mirko Schüchel (2019), MSc. Alice Siemund (2020), MSc. Marc Sirrenberg (2020)

**Formgedächtnislegierungen***Shape memory alloys*

MSc. Thorsten Birk (2013), MSc. Hannah Sommer (2013), MSc. André Wiczorek (2013), MSc. Nicolai Wiczorek (2013), MSc. Jenni Kristin Zglinski (2013), MSc. Philip Hallensleben (2014), MSc. Axel Marquardt (2014), MSc. Patrick Frowein (2015), MSc. Stefan Schneider (2015), MSc. Reinhard Ose (2016), MSc. Christoph Kellner (2016), MSc. Alexander Tsiomos (2016), MSc. Kurosh Milheli (2018), MSc. Nicole Stötzel (2019), MSc. Mirko Schüchel (2019), Oluwaseyi Oluwabi (2020)



**Bild 7.6:** Langjährige tragende Mitglieder der Band des Instituts für Werkstoffe: Carl Klein und Reinhard Ose.

**Fig. 7.6:** Long-term key members of the Institute for Material's Band: Carl Klein and Reinhard Ose.



**Mikrostrukturelle, mechanische  
Charakterisierung und Modellierung*****Microstructural and mechanical  
characterization, modelling***

MSc. Pascal Thome (2013), MSc. Florian Viktor Fox (2015), MSc. Johannes Ulrich (2015), MSc. Mahmut Ersanli (2016), MSc. Natalia Rezanka (2016), MSc. Mike Schneider (2017), MSc. Setareh Medghalchi (2019), MSc. Beytullah Öztürk (2020)

**Formgedächtnispolymere*****Shape memory polymers***

MSc. Ahmad Fakih (2014), MSc. Yvonne C. Dieudonné (2016), MSc. Christoph Jonas (2019)

**Hochentropielegierungen*****High entropy alloys***

MSc. Ulrich F. Volkert (2017), MSc. Syeda Kashmala Sahid (2017), MSc. Christian Reinhart (2017), MSc. Alex Asabre (2017), MSc. Sondre Berglund (2018), MSc. Yordan Kalchev (2018), MSc. Farhad Ibrahimkhel (2019), MSc. Parham Ghaemmaghamifardaraghi (2020)

**Bachelor-Arbeiten*****Bachelor degrees*****Superlegierungen und andere Hoch-  
temperaturwerkstoffe*****Superalloys and other high  
temperature materials***

BSc. Pavel Tchachov (2012), BSc. Robert Schulz (2013), BSc. Marius Büsing (2014), BSc. Christian Maihöfer (2015), BSc. Sven Maihöfer (2016), BSc. Larissa Heep (2017), BSc. Sadaf Hakimzada (2017), BSc. Mirko Schückel (2017), BSc. Patrick Hoose (2020)

**Formgedächtnislegierungen*****Shape memory alloys***

BSc. André Wiczorek (2012), BSc. Jenni Kristin Zglinski (2012), BSc. Adam Kazuch (2014), BSc. Carl F. Klein (2014), BSc. Reinhard Ose (2014), BSc. Natalia Rezanka (2014), BSc. Eugen Ziselski (2014), BSc. Christof Kellner (2015), BSc. Kurosh Mirheli (2015), BSc. David Piorunek (2016), BSc. Nicole Stötzel (2017), BSc. Alexander Schlüter (2019)

**Mikrostrukturelle und mechanische  
Charakterisierung*****Microstructural and mechanical  
characterization***

BSc. Axel Marquardt (2012), BSc. Sondre Berglund (2014), BSc. Mahmut Ersanli (2014), BSc. Mark Hillermann (2014), BSc. Mike Schneider (2015), BSc. Hakan Dumlu (2016)

**Formgedächtnispolymere*****Shape memory polymers***

BSc. Jan Hiebeler (2012), BSc. Feret Civac (2013), BSc. Jonas Vincent Kohnen (2014), BSc. Yordan Kalchev (2015), BSc. Alice Siemund (2018), BSc. Marc Sirrenberg (2018)

**Hochentropielegierungen*****High entropy alloys***

BSc. Oliver Martin Horst (2014), BSc. Christian Reinhart (2015), BSc. Ulrich Felix Volkert (2015), BSc. Julian Hunfeld (2015), BSc. Amin Shalabi (2018), BSc. Jonathan Freund (2018), BSc. Felicitas Werner (2019), BSc. Maik Rajkowski (2019), BSc. Alexander Wolf (2020)

**Diplom-Arbeit*****Dipl.-Ing. degree*****Dipl.-Ing. Alexander Paulsen**

In Deutschland wurde das Universitäts-System vom Diplom-Studium auf das Bachelor/Master-System umgestellt. An unserem Lehrstuhl führte Alexander Paulsen die letzte Diplom-Arbeit durch. Titel: Untersuchungen zur Herstellung, zu den Mikrostrukturen und den Eigenschaften von Ti-Ta-Formgedächtnislegierungen.

2013

*In Germany, the academic system discontinued the traditional German diploma studies and replaced them by Bachelor/Master programs. The last Diploma Thesis in our group was performed by Alexander Paulsen. Title: Processing, microstructure and properties of the high-temperature shape memory alloy NiTi.*

## 8. Auslandsaufenthalte

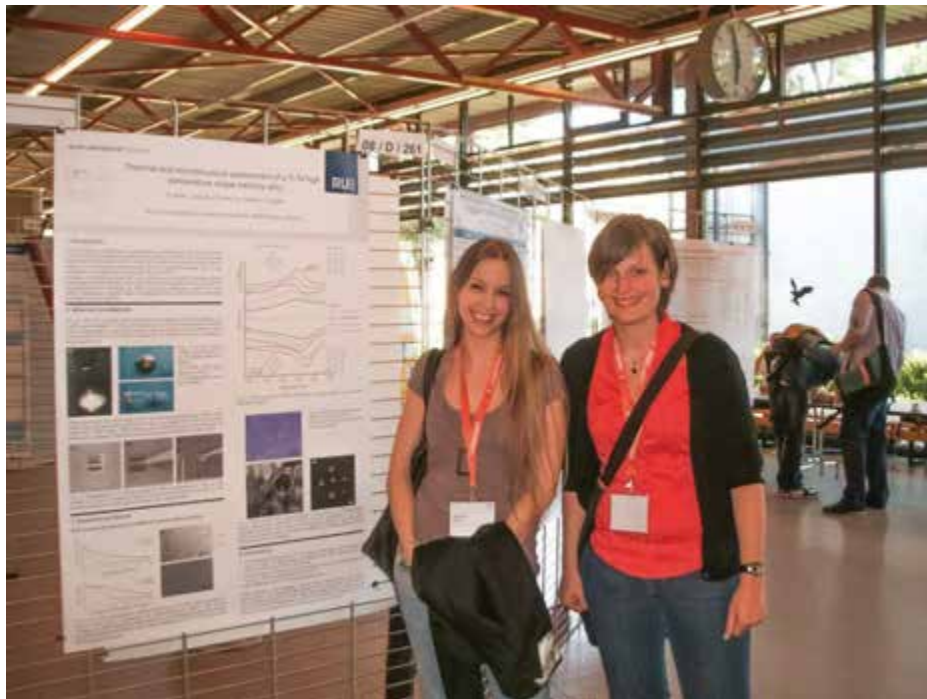
Kontakte mit Wissenschaftler(inne)n aus aller Welt sind in unserem Fach sehr wichtig. Das erste Corona-Jahr 2020 hat gezeigt, dass man mit den internationalen Kolleg(inn)en zwar in Kontakt bleiben kann, dass ein Austausch über das Internet die enge persönliche Zusammenarbeit aber nicht ersetzen kann. Wir hoffen, dass dies bald wieder möglich wird.

**Konferenzteilnahmen:** Im Vergleich zum Zeitraum, den unser letzter Aktivitätsbericht abdeckte, haben wir stärker an internationalen Konferenzen teilgenommen. Bei Tagungen über Hochtemperaturverformung und martensitische Umwandlungen sind wir mit größeren Gruppen vertreten. Auch an Symposien zu High Entropy Alloys, zu Diffusion, zur Metallographie, zur Werkstoffprüfung und zu allgemeinen materialwissenschaftlichen Tagungen nehmen wir teil. Über einige wichtige Konferenzen hatten wir bereits weiter vorne berichtet.

## 8. Travel Abroad

*In our field of research, it is vital to exchange ideas with scientists from all over the world. The first COVID-19 year of 2020 has shown that while it is possible to stay in contact with colleagues from other countries, personal contacts cannot be replaced by exchanges over the internet. We therefore hope that everything will be back to normal soon.*

***Participation in conferences:** Compared to the period covered by our last activity report, the number of participations in international conferences has increased. Delegates from our Chair took part in meetings ranging from high-temperature plasticity to martensitic transformations. We also participated in symposia and conferences. Topics were high-entropy alloys, diffusion, metallo-graphy, materials testing and general material science issues. Some of the main conferences have already been covered in this report.*

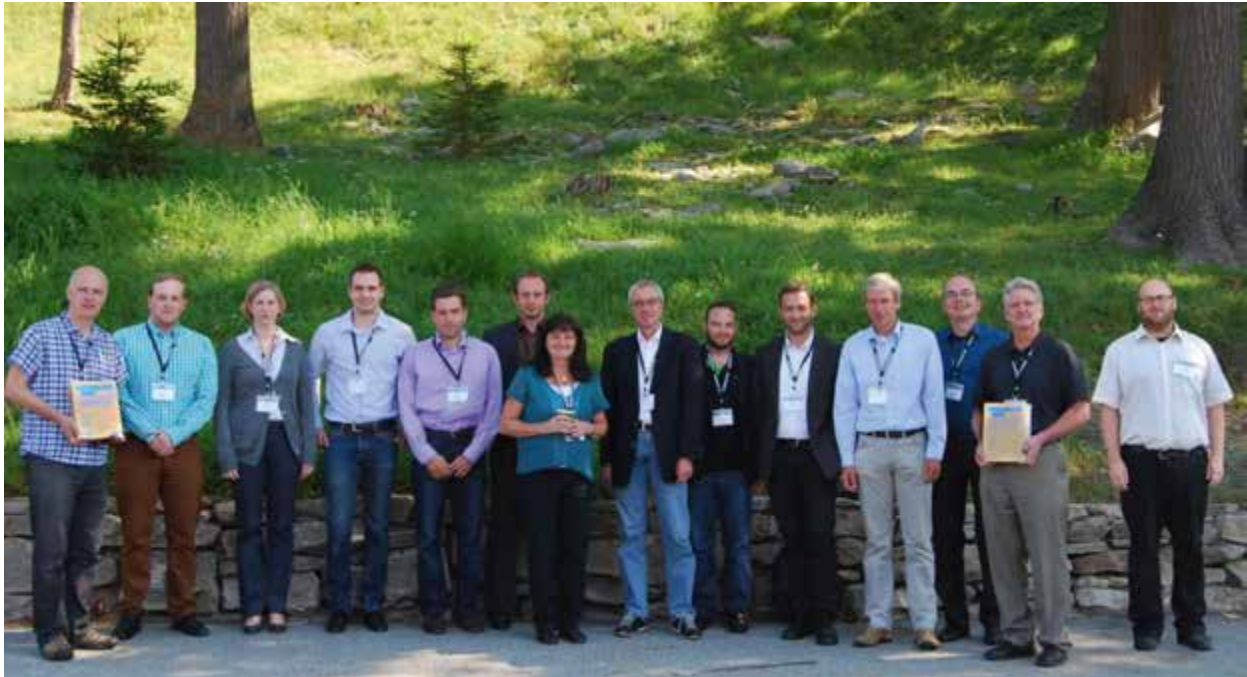


**Bild 8.1:** Ramona Rynko und Jenna Heyer auf der Junior Euromat in Lausanne, 2012.  
*Fig. 8.1:* Ramona Rynko and Jenna Heyer at the Junior Euromat in Lausanne, 2012.



Insbesondere im Bereich der einkristallinen Superlegierungen, der in unserem SFB/TR 103 behandelt wird, ist es wichtig, mit den in diesem Feld führenden Forscher(inne)n zu diskutieren.

*In particular in the field of superalloy single crystals, the main focus of our collaborative research centre SFB/TR 103, there is a need to be in direct contact with leading researchers.*



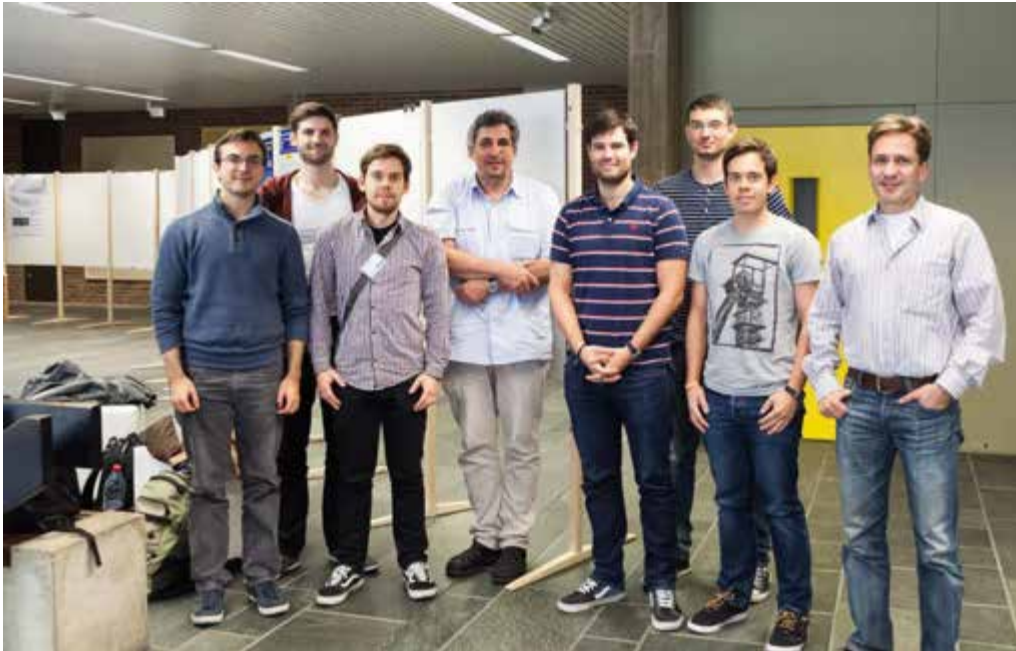
**Bild 8.2:** Hinrich Buck (2.v.l.) und Philip Wollgramm (4.v.l.) auf der Superalloy 2013.  
**Fig. 8.2:** Hinrich Buck (2<sup>nd</sup> FLTR) and Philip Wollgramm (4<sup>th</sup> FLTR) at Superalloys 2013.



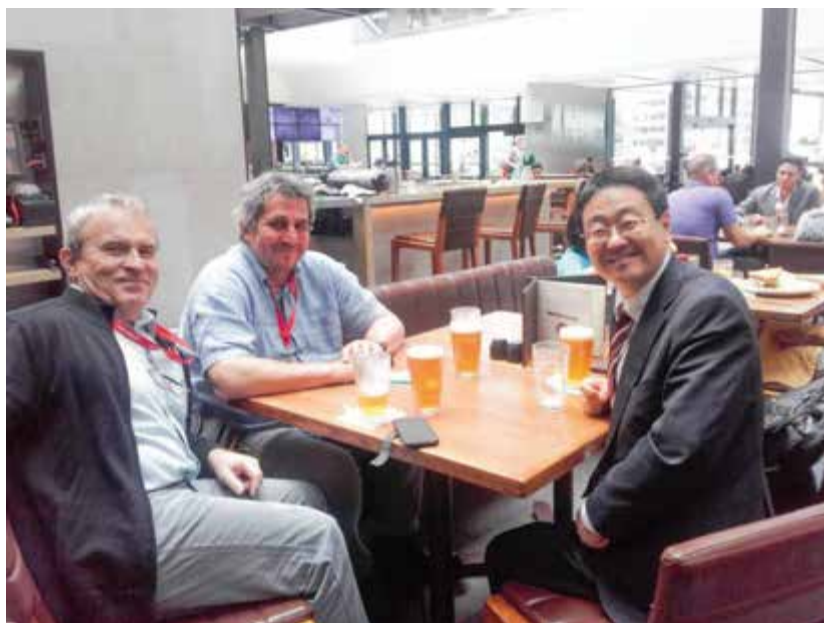
**Bild 8.3:** Philip Wollgramm (links) und Xiaoxiang Wu (vorne) auf der Superalloy 2016.  
**Fig. 8.3:** Philip Wollgramm (left) and Xiaoxiang Wu (front) at Superalloys 2016.

Auch im Bereich der martensitischen Umwandlungen und der Formgedächtnislegierungen sind wir nach wie vor aktiv und nehmen an Fachkonferenzen teil. Wir treffen an den Martensittagungen auch alte Bekannte wieder, die früher an unserem Lehrstuhl gearbeitet haben.

*We also attended conferences on martensitic transformations and shape memory alloys, especially in ESOMAT and ICOMAT meetings. At martensite symposia, we often meet old friends who spent prolonged research periods at our group in Bochum.*



**Bild 8.4:** Auf der ESOMAT 2015 in Antwerpen. **Fig. 8.4:** ESOMAT 2015 in Antwerp.



**Bild 8.5:** Besprechung mit Leandru Bujoreanu (TU Iasi, Rumänien) und Takahiro Sawaguchi (NIMS, Japan) at ICOMAT 2017. **Fig. 8.5:** Meeting with Leandru Bujoreanu (TU Iasi, Romania) and Takahiro Sawaguchi (NIMS, Japan) at ICOMAT 2017.



Wir nehmen regelmäßig an der internationalen Konferenz zu mechanischen Eigenschaften von Materialien (ICSMA) und an TMS-Tagungen teil.

*We are regular participants of the International Conference on Strength of Materials (ICSMA) and of TMS meetings.*



**Bild 8.6:** David Bürger trägt auf der TMS 2020 in San Diego vor.  
*Fig. 8.6:* David Bürger presenting his work at TMS 2020 in San Diego.

**Längere Aufenthalte:** Zu Beginn des Berichtszeitraums führte **Hannah Sommer** 2012 ihre Masterarbeit in Bariloche, Argentinien, durch. Am dortigen Balseiro-Institut haben wir sehr gute Kontakte zu Marcos Sade, Alejandro Yawny und Jorge Pellegrina. Die Gruppe aus Bariloche ist eine weltweit führendes Team im Bereich der Formgedächtnisforschung. Um die Aktivitäten abzugleichen, verbrachte auch Jan Frenzel zwei Wochen in Bariloche.

*Longer research stays:* At the beginning of the reporting period, **Hannah Sommer** performed 2012 her master thesis in Bariloche, Argentina. There, at the the Balseiro-Institute, we have very good long-term contacts with Marcos Sade, Alejandro Yawny and Jorge Pellegrina. The Bariloche group has a long-term track record in research on shape memory alloys. In order to coordinate the activities between Bochum and Bariloche, Jan Frenzel also spent two weeks there.





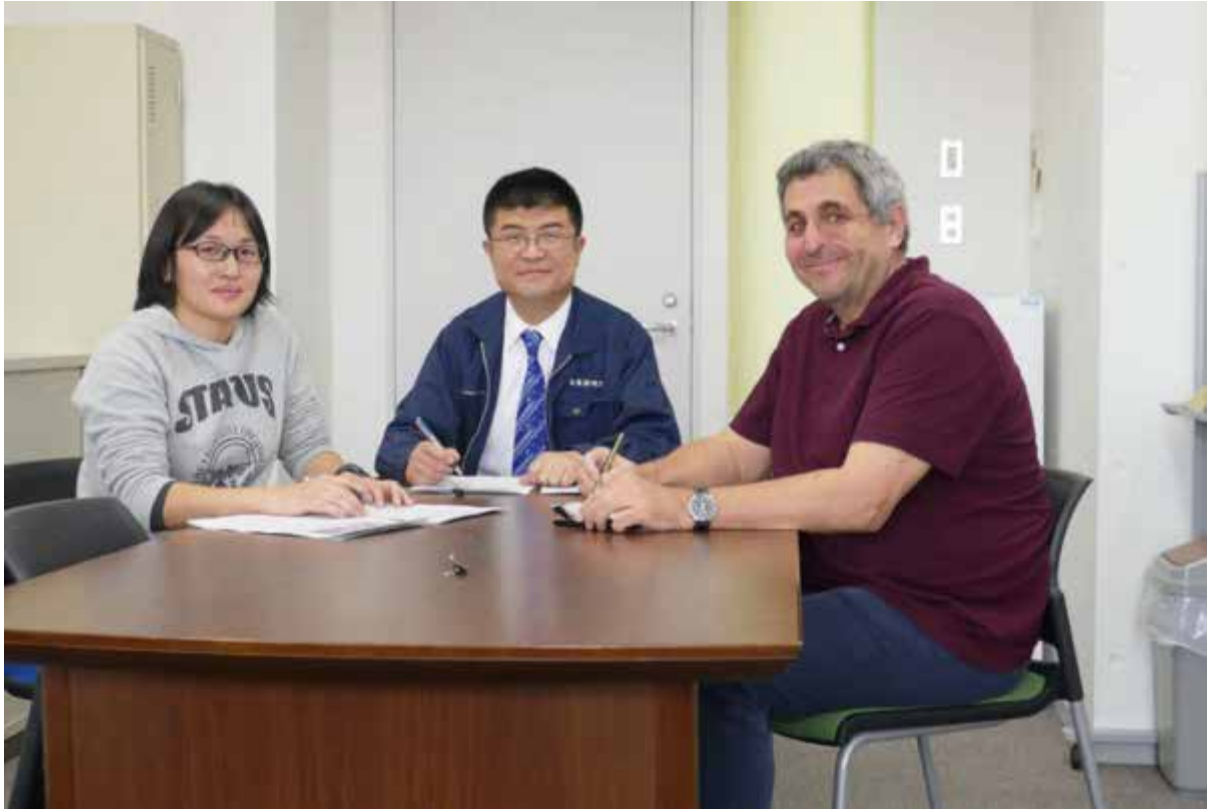
**Bild 8.7:** Hannah Sommer während ihrer Masterarbeit in Bariloche 2012. Mit Alejandro Yawny, Jan Frenzel und Jorge Pellegrina. **Fig. 8.7:** *Hannah Sommer during work for her master thesis in Bariloche 2012. Together with Alejandro Yawny, Jan Frenzel and Jorge Pellegrina.*

Im Oktober/November 2017 verbrachte **Gunther Eggeler** ein Forschungssemester als JIMIS Fellow in Japan an der Tohoku Universität in Sendai. Dorthin bestehen Kontakte zu Kuichi Maruyama und zu Kyosuke Yoshimi. In Sendai arbeitete Gunther Eggeler in der Yoshimi-Gruppe mit Shiho Yamata an einer Veröffentlichung zum Kriechverhalten von MoSiB-Legierungen bei extrem hohen Temperaturen. Außerdem entstand in Sendai eine Arbeit zu den Mikromechanismen des Scherkriechverhaltens einkristalliner Ni-Basis-Superlegierungen.

An der University of Kyoto arbeitete Gunther Eggeler im November 2017 gemeinsam mit Profs. Haruyuki Inui und Kyosuke Kishida an einer Veröffentlichung zum In-Situ SEM-Mikroscherverhalten einkristalliner Ni-Basis-Superlegierungen.

*In October/November 2017, **Gunther Eggeler** spent a sabbatical as a JIMIS research fellow in Japan at the Tohoku University in Sendai, where he is in close contact with Kuichi Maruyama and Kyosuke Yoshimi. At the Tohoku University, he worked in the Yoshimi group with Shiho Yamata on a publication addressing the creep behavior of MoSiB alloys at extremely high temperatures. Moreover, there was collaboration within a research project on high-temperature shear creep mechanisms in Ni-base superalloy single crystals.*

*At the University of Kyoto, Gunther Eggeler worked in November 2017 in collaboration with Profs. Haruyuki Inui and Kyosuke Kishida on a manuscript on the in-situ micro shear behavior of single crystal Ni-base superalloys.*



**Bild 8.8:** Mit Shiho Yamata und Kyosuke Yoshimi an der Tohoku University in Sendai, Oktober 2017. *Fig. 8.8: With Shiho Yamata und Kyosuke Yoshimi at the Tohoku University in Sendai, October 2017.*



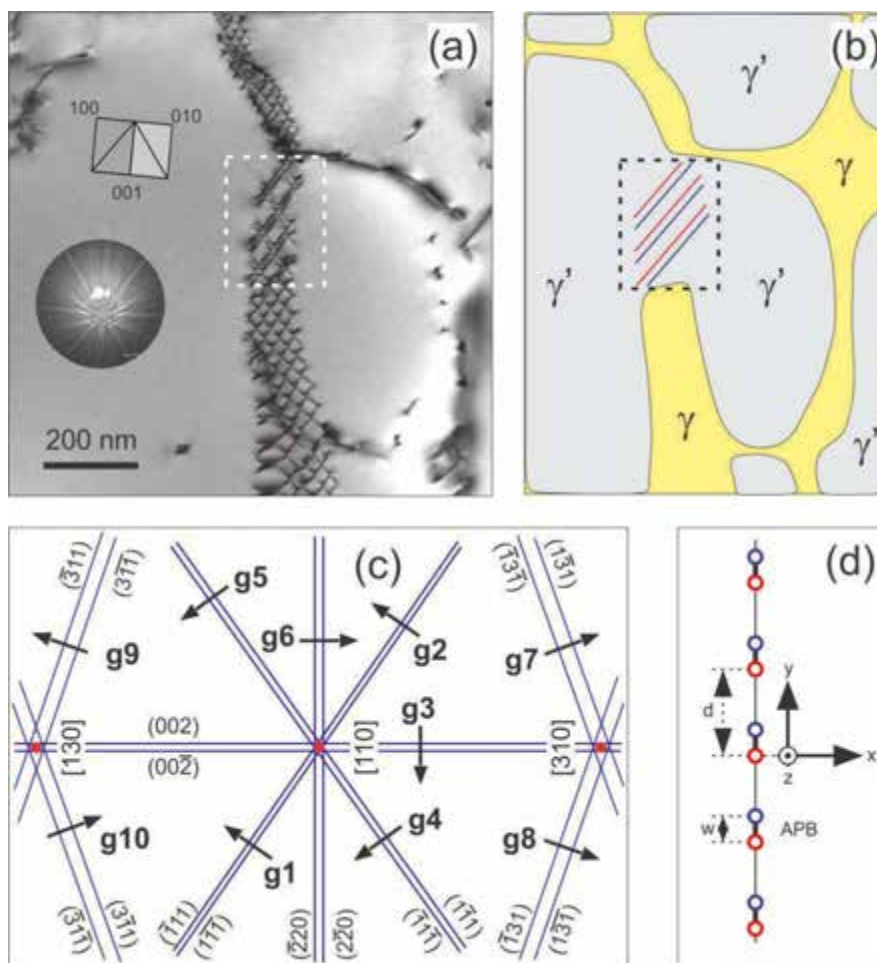
**Bild 8.9:** Mit Prof. Haruyuki Inui in Kyoto, November 2017. *Fig. 8.9: With Prof. Haruyuki Inui in Kyoto, November 2017.*

**Adeline Durand** war im Jahr 2018 für ein halbes Jahr am Oak Ridge National Laboratory, wo sie mit Prof. Easo George an Diffusionsvorgängen in High Entropy Alloys arbeitete. Dabei wechselwirkte sie auch mit der Modellierungsgruppe aus der Abteilung von Easo George. Die Ergebnisse der Arbeit konnten 2020 in *Intermetallics* veröffentlicht werden.

*In 2018, Adeline Durand spent half a year at the Oak Ridge National Laboratory, where she worked in Easo George's group on interdiffusion in high-entropy alloys. She also interacted with modellers to explain the concentration profiles she observed. The results of her work were published in 2020 in the journal Intermetallics.*

**Larissa Heep** verbrachte im Frühjahr/Sommer 2018 einige Monate an der University of Cambridge, wo sie in der Gruppe von Prof. Cathie Rae elektronenmikroskopische Untersuchungen an additiv gefertigten Superlegierungen durchführte. Insbesondere untersuchte sie Versetzungsnetzwerke, die beim Kriechen in die geordnete  $\gamma'$ -Phase eingewachsen waren. Die Ergebnisse konnten in *Scripta Materialia* veröffentlicht werden.

*In spring/summer 2018, Larissa Heep spent a few months in the UK, at the University of Cambridge. She worked in Prof. Cathie Rae's group, where she used transmission electron microscopy to study dislocation networks in additively manufactured Ni-base superalloys. She identified networks within the  $\gamma'$ -phase after creep. She was able to detect network superdislocations. Her results were published in Scripta Materialia.*



**Bild 8.10:** Ergebnisse von Larissa Heep aus ihrem Forschungsaufenthalt in Cambridge 2018.  
**Fig. 8.10:** Results from Larissa Heep from her research stay in Cambridge 2018.





## 9. Veranstaltungen

Im Berichtszeitraum haben wir zahlreiche Veranstaltungen organisiert, über die wir teilweise im Rückblick berichtet haben. Es würde den Rahmen dieses Berichts sprengen, wollten wir alle Veranstaltungen im Detail nachhalten. Einiges soll aber doch festgehalten werden.

**SFB/TR 103:** Von Beginn des Berichtszeitraums an haben die Wechselwirkungswochen des SFB/TR 103 unser Tagesgeschäft geprägt. Im Berichtszeitraum fanden 18 Wechselwirkungswochen (jeweils zwei pro Jahr) statt. Die gute Zusammenarbeit zwischen den Standorten, von der wir heute wissenschaftlich profitieren, resultierte dabei auf einem intensiven wissenschaftlichen und organisatorischen Austausch. Die erste Wechselwirkungswoche fand im Erlanger Novotel im Frühjahr 2012 statt.

## 9. *Special Events*

*We have organized quite a few scientific seminars in the reporting period, some of which we have highlighted in the retrospect of this overview. It is not possible to document all interesting details of these events. The present section briefly documents the important events.*

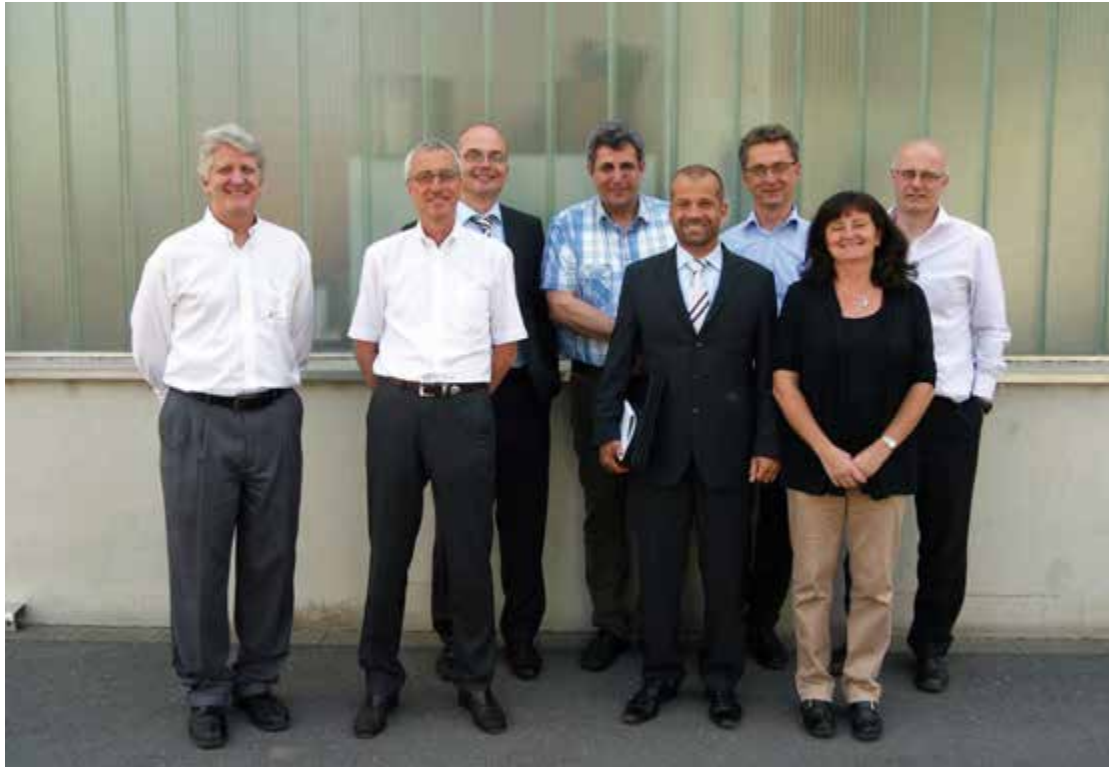
***SFB/TR 103:*** *At the beginning of the reporting period, the Interaction Weeks of our SFB/TR 103 played a central role in our work. In total 18 Interaction Weeks were held, two each year. The excellent collaboration between the projects from different affiliations that characterizes our collaborative research center today is a result of the scientific discussions that took place during the Interaction Weeks. The first Interaction Week was held in the Novotel in Erlangen in spring of 2012.*



**Bild 9.1:** TeilnehmerInnen der ersten Wechselwirkungswoche des SFB/TR 103, Erlangen 2012. **Fig.9.1:** *Participants of first Interaction Week of SFB/TR 103, Erlangen 2012.*

In den Wechselwirkungswochen stellten die Einzelprojekte ihre Ergebnisse in Kurzvorträgen und auf Postern vor. An zwei Tagen nahmen die Mitglieder des Technical Academic Advisory Boards (TAAB) an den Treffen teil.

*During an Interaction Week, all individual projects of SFB/TR 103 present their results in oral presentations and posters. The members of the Technical Academic Advisory Board (TAAB) participated on a regular basis.*



**Bild 9.2:** Technical Academic Advisory Board (TAAB) des SFB/TR 103, Erlangen 2012.  
**Fig. 9.2:** *Technical Academic Advisory Board (TAAB) of SFB/TR 103, Erlangen 2012.*  
**Vorne/front row:** Mike Mills (The Ohio State University, Columbus), Robert Singer (SFB/TR 103, FAU Erlangen), Thomas Wagner (Doncasters, Bochum), Tresa Pollock (UC Santa Barbara); **Hinten/back row:** Oliver Lüsebrink (Siemens Energy, Mülheim), Gunther Eggeler (SFB/TR 103, RUB), Johannes Gabel (MTU Aeroengines, München), Roger Reed (University of Oxford)

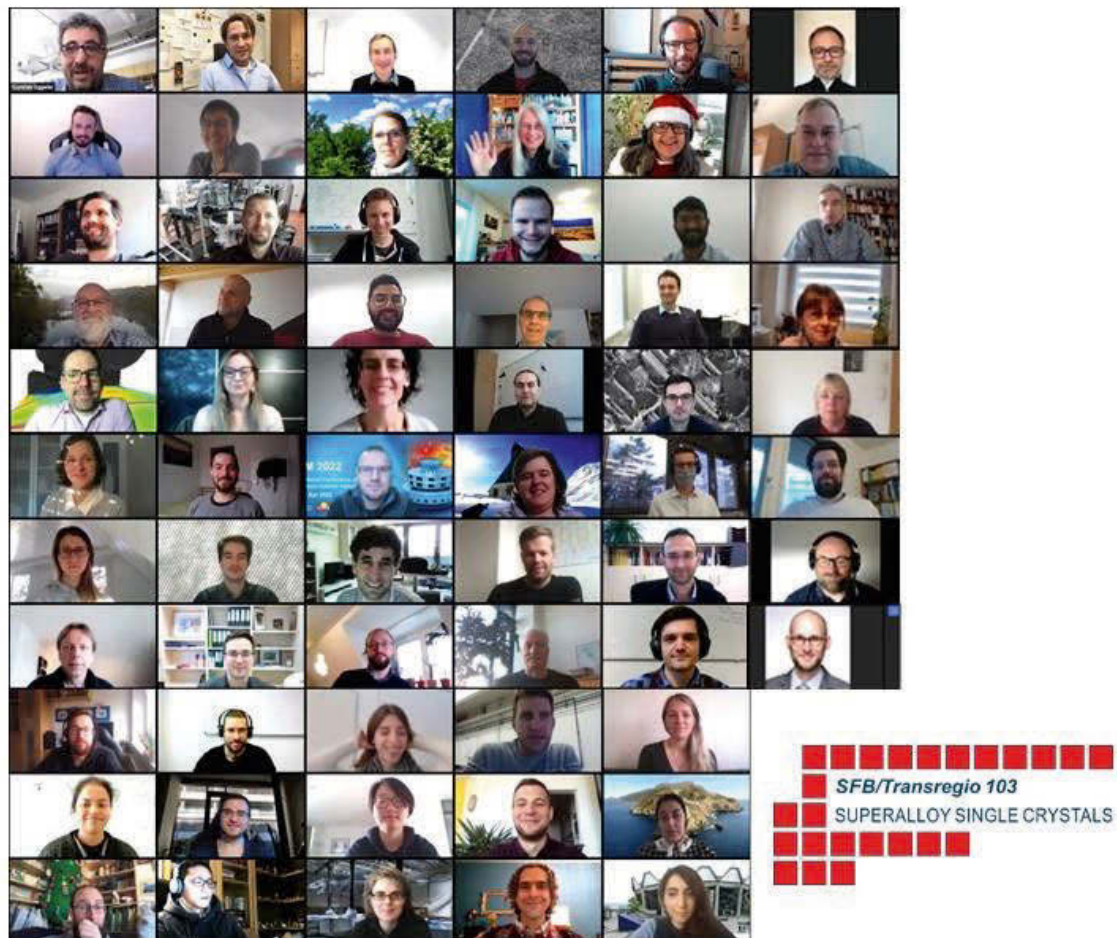
Die TAAB-Mitglieder präsentierten eigene Beiträge. Außerdem bewerteten sie die Einzelprojekte und gaben Hinweise zu aktuellen Fragestellungen. In die Wechselwirkungswochen des SFB/TR 103 waren auch die Mitgliederversammlungen integriert, auf denen die Mitglieder des SFB/TR 103 Entscheidungen treffen. Hier herrschte immer ein positiver, konstruktiver Geist, alle Probleme konnten meist einvernehmlich gelöst werden. Eine wichtige Rolle beim Erfolg des SFB/TR 103 spielten auch die Querschnittsgruppen, in denen übergreifende Fragen behandelt

The TAAB members not only provided feedback and input regarding our research activities. They also gave scientific presentations and pointed out what they considered as being important developments. As part of the SFB/TR 103 Interaction Weeks, membership meetings were held in which decisions on membership, research directions, organization of meetings and funding are made. There always was a constructive and positive atmosphere, issues could always be quickly resolved. The scientific cross-sectional groups, where interdisciplinary aspects



wurden. Im Pandemiejahr 2020 fanden die Wechselwirkungswochen als digitale Veranstaltungen statt.

are discussed, played a vital role. In 2020, the first year of the pandemic, Interaction Weeks were held digitally.



**Bild 9.3:** Letzte (digitale) Wechselwirkungswoche des Berichtszeitraums, Dezember 2020.  
**Fig. 9.3:** Last (digital) Interaction Week in the reporting period, December 2020.

**BOKOMAT Symposien:** Im Berichtszeitraum haben wir gemeinsam mit der Firma Ingpuls drei zweitägige BOKOMAT-Veranstaltungen organisiert, die in den Jahren 2014, 2016 und 2019 stattfanden. Hier trafen sich Formgedächtnisforscher und -anwender aus dem deutschsprachigen Raum, stellten ihre Ergebnisse vor und diskutierten aktuelle Entwicklungen. Bei einem gemütlichen Zusammensein zwischen den beiden Vortragstagen bestand die Gelegenheit zum persönlichen Kennenlernen. Die BOKOMAT hat sich als deutschsprachige Konferenzserie auf dem Formgedächtnissektor etabliert und ist immer gut besucht.

**BOKOMAT Symposia:** In the reporting period, we organized three two-day BOKOMAT symposia, in collaboration with Ingpuls. The symposia were held in 2014, 2016 and 2019 and were well attended, since our group keeps up basic research in the shape memory field and the community is well aware of the technological success of Ingpuls. The BOKOMAT constitutes a platform for scientific exchange; shape memory researchers from different academic affiliations and industrial R&D labs can exchange ideas there. BOKOMAT participants appreciate the program and the lively get-together between the two conference days.



**Bild 9.4:** Teilnehmer der BOKOMAT 2016 vor dem AUDIMAX der RUB.  
**Fig. 9.4:** *Participants of BOKOMAT 2016 in front of RUB's AUDIMAX.*

Die Programme der BOKOMAT Symposien bestehen etwa zur Hälfte aus Bochumer Beiträgen (RUB und Ingpuls). Die andere Hälfte bestreiten externe Vortragende.

*Half of the talks presented at the BOKOMAT conferences come from RUB and Ingpuls. The other contributions are presented by colleagues from outside Bochum (academia and industry).*

**BOKOMAT 2014 (September 18-19, 2014):** 5. Bochumer Kolloquium für Martensitische Transformation; externe Vortragende: M. Mertmann (Redsystems GmbH, München); M. Bitzer (FZ Jülich); R. Pfeifer (Laserzentrum, Hannover); E. Quandt (CAU, Kiel); M. Frotscher (Cortronik, Rostock); E. Batyrshina (Leibniz Universität Hannover); S. Kraus (Airbus Lampoldshausen).

**BOKOMAT 2016 (September 15-16, 2016):** 6. Bochumer Kolloquium für Martensitische Transformation; externe Vortragende: A. Schölmerich (Rektor RUB); T. Eiskirch (OB Bochum); F. Weik (IHK Bochum); M. Wagner (TU Chemnitz); A. Bucht (Fraunhofer IWU, Dresden); M. Frotscher (Cortronik, Rostock); T. Waitz (Universität Wien); A. Schäfer (IPT, Aachen); T. Niendorf (Universität Kassel); S. Kraus (Airbus, Lampoldshausen); M. Pouya (TU Chemnitz); C. Bechthold (Acquandas, Kiel); J. Hartjes (Carl Zeiss SMT, Oberkochen); D. Gruner (CSI Entwicklungstechnik, Neckarsulm); P. Krooß (Universität Kassel).

**BOKOMAT 2019 (May 6-7, 2019):** 7. Bochumer Kolloquium für Martensitische Transformationen; externe Vortragende: C. Reinhardt (Kanzlerin RUB); M. Wagner (TU Chemnitz); C. Megnin (memetis GmbH, Karlsruhe); C. Torrent (Universität Kassel); I. Navarro (Fraunhofer IWU, Chemnitz); M. Hübler (CompActive GmbH, Neustadt an der Weinstraße); J. Wolfert (Coltene R&D Treatment Auxiliaries & Endodontics, Langenau); P. Engelhardt (Woco GmbH & Co. KG, Bad Soden); C. Dahnke (TU Dortmund); L. Ornot (Kraftwerk Gösigen-Däniken AG, Däniken, CH).

**RUB-SEMINAR Materials Science and Technology.** Zu Beginn des Berichtszeitraums wurde ein neues englischsprachiges Seminar ins Leben gerufen. Statt des früheren Instituts-Seminars des Instituts für Werkstoffe (IfW) veranstalten wir das neue Seminar gemeinsam mit den Kollegen des ICAMS. In jedem Semester lädt jede Einheit eine(n) Sprecher(in) ein. Es finden pro Semester zwischen 6 und 8 Vorträge statt. Die eingeladenen Vortragenden haben die Gelegenheit, mit allen IFW/ICAMS-Materialwissenschaftlern zu sprechen. Das Seminar hat sich in den letzten Jahren zu einer populären Veranstaltung entwickelt, die von Mitgliedern des IFW und des ICAMS gerne besucht wird. Im Rahmen dieses Seminars waren die von uns betreuten Gäste:

***RUB SEMINAR Materials Science and Technology.** With the beginning of the reporting period, a new seminar was launched, organized by our Institute of Materials and the Interdisciplinary Center for Advanced Material Simulation (ICAMS). This new seminar replaced our traditional Institute for Materials Seminar. Every semester, each participating group invites one speaker. In the reporting period, there have been between 6 and 8 presentations per semester. An effort was made to give the invited speakers the possibility to engage in discussions with interested RUB material scientists. This seminar is today the most popular seminar for IFM and ICAMS members and always well attended. We invited the following speakers:*

**Phil Withers, University of Manchester, UK:** Synchrotron imaging of tribo induced phase-transitions, 14. November 2013

**Manfred Wilm, KIT, Karlsruhe:** New methods for the mechanical characterization of polymers and the entropy wheel, 8. May 2014

**Andreas Burbli, IFAM, Bremen:** Computational materials engineering – A case study on porosity from cast pores to porous bone structures, 30. October 2014

**Ruth Schwaiger, KIT, Karlsruhe:** Cyclic contact deformation of metallic materials investigated by instrumented indentation, 18. June 2015

**Stefan Sandfeld, FAU Erlangen:** Dislocation pattern formation and the similitude principle in a continuum theory of dislocation dynamics, 5. November 2015

**Michael Titus, MPIE Düsseldorf:** On the role of planar faults during creep of single crystal superalloys with  $\gamma/\gamma'$ -microstructures, 19. May 2016

**Baptiste Gault, MPIE Düsseldorf:** Atom probe as a tool for nanoscale characterization of engineering materials, 27. October 2016

**Eric Jägle, MPIE Düsseldorf:** Phase transformation phenomena in alloys produced by laser additive manufacturing, 27. April 2017

**Jean-Philippe Couzinié, Inst. de Chemie et des Matériaux, Université Paris-Est:** BBC High entropy alloys: Microstructures, properties and underlying deformation mechanisms, 11. January 2018

**Christina Sengstock, Universitätsklinikum Bergmannsheil:** Biocompatibility testing of biomaterials, 19. April 2018



**Easo George, Oak Ridge National Laboratory, Knoxville:** Recent progress in high entropy alloy research, 20. December 2018

**Jaume Pons, University of the Balearic Islands, Mallorca:** Recent developments of Ni-Ti-Zr and Ni-Mn-Ga high temperature shape memory alloys, 23. May 2019

**Jürgen Rödel, TU Darmstadt:** Dislocation based functionality in oxides, 5. December 2019

**Fernando León-Cázares, University of Cambridge, UK:** Understanding the effects of stress orientations – propagation of superlattice stacking faults in Ni-base superalloys, 26. November 2020

**Mittlere und kleinere Symposien zu diversen Themen und Anlässen.** Im Berichtszeitraum haben wir verschiedene Symposien organisiert, teilweise gemeinsam mit Kollegen/Kolleginnen aus dem Institut für Werkstoffe und dem ICAMS, teilweise auch mit externen Partnern. Es gab Kolloquien zu wissenschaftlichen Themen, und es gab Veranstaltungen, die aus bestimmten Anlässen organisiert wurden. Die Organisation dieser Veranstaltungen war immer mit einem gewissen Aufwand verbunden. Trotzdem haben sie unser wissenschaftliches Leben bereichert, und wir haben sie 2020, im ersten Jahr der Pandemie, vermisst. Aus Platzgründen ist es nicht möglich, alle Programme detailliert aufzulisten. Wichtige Eckdaten sollen aber festgehalten werden:

*Other symposia (intermediate size and small) on different topics.* A number of symposia on different topics were organized, some of them together with colleagues from the Institute for Materials, from the Interdisciplinary Center for Advanced Materials Simulation and with colleagues from other affiliations. They were scientific colloquia on specific occasions. Some of the events were organized to celebrate achievements. The organization of these symposia requires some effort. Nevertheless, we feel that they enrich our scientific life. In 2020, the first year of the pandemic, we missed events where one can meet other scientists. For reasons of space, it is not possible to document all details of the symposia. Here we list the topics together with the dates and the participants:



**Bild 9.5:** Deutsch/französisches Superalloy Seminar 2013. Bernard Viguiier (Sprecher) und Uwe Glatzel (Chairman). **Fig. 9.5:** Franco-German Superalloy seminar 2013. Bernard Viguiier (Speaker) and Uwe Glatzel (Chairman).

**Single Crystal Superalloys with  $\gamma/\gamma'$ -Microstructures (20./21. July 2013):** Organized in collaboration with Bernard Viguier (CIRIMAT ENSIACET, Toulouse). Speakers: P. Caron (ONERA, Paris); U. Glatzel (Uni Bayreuth); J. Douin (CEMES, Toulouse), M. Hafez (MPIE Düsseldorf); B. Viguier (CIRIMAT ENSIACET, Toulouse); G. Eggeler (RUB); A. Jaques (Institut Jean Lamour Nancy); Inmaculada Lopez Galilea (RUB); P. Wollgramm (RUB); S. Neumeier (FAU, Erlangen); F. Pettinari (CEMES, Toulouse); A. Epishin (TU Berlin); E. Fleischmann (Uni Bayreuth); J. Cormier (CNRS Université de Poitiers).

**Symposium on Transmission Electron Microscopy and Atom Probe Analysis of Single Crystal Superalloys (6./7. March 2014):** Speakers: M. Mills (The Ohio State University, Columbus), J. Müller (FAU, Erlangen); L. Agudo Jácome (BAM, Berlin); A. Dlouhy (IPM, Brno); I. Povstugar (MPIE, Düsseldorf); A. Kostka (MPIE, Düsseldorf); A. Parsa (RUB); M. Terock (Uni Bayreuth); Y.M. Eggeler (FAU, Erlangen); M. Isik (MPIE, Düsseldorf); C. Somsen (RUB); Ramona Rynko (RUB).



**Bild 9.6:** Teilnehmer am Superlegierungs TEM/APT Symposium 2013.  
*Fig. 9.6:* Participants of SX TEM/APT Symposium 2013.

**20 + 1 – Symposium on Recent Progress in Plasticity and Phase Transformations (19.-21. August 2015):** December 2015): Speakers: E. Weiler (Rektor RUB); G. Eggeler (IFM RUB); A. Ludwig (IFM RUB); A. Kostka (IFM RUB); M. Mills (OSU, Columbus, USA); G. Laplanche (IFM RUB); J. Frenzel (IFM RUB); R. Drautz (ICAMS RUB); U. Glatzel (Uni Bayreuth); Z. Zhang (Shandong University, China); B. Viguier (CIRIMAT ENSIACET, Toulouse, Frankreich); V. Yardley (IFM RUB); A. Yawny (Instituto Balseiro, Bariloche, Argentina); F. Otto (Infineon Technologies; Warstein); J. Earthman (UC Irvine, USA); H. Mughrabi (FAU, Erlangen); A. Dlouhy (IPM, Brno, CZ); H. Inui (Kyoto University, Japan); B. Skrotzki (BAM, Berlin); D. Raabe (MPIE, Düsseldorf); M. F.-X. Wagner (TU Chemnitz); E. Payton (Dexter University, USA); R. Span (RUB); W. Theisen (IFM RUB); M. Kamaraj (IIT Madras, India); G. Pharr (UT Knoxville, USA); E. George (IFM RUB).



**Bild 9.7:** Teilnehmer von 20+1: Haruyuki Inui, Eric Payton, George Pharr, Mustafa Rahim und Jafar Khalil Allafi.

**Fig. 9.7:** Participants of 20+1: Haruyuki Inui, Eric Payton, George Pharr, Mustafa Rahim und Jafar Khalil Allafi.

**Microstructure of Materials: Methods and Elementary Processes - Farewell Symposium Victoria Yarley (11. December 2015):** Speakers: V. Yardley (IFM RUB), C. Capdevilla Montes (CENIM-CSIC, Madrid); P. Thome (IFM RUB); A. Hartmaier (ICAMS RUB); M. Knyazeva (IFM RUB); S. Fahimi (IFM RUB); S. Löwy (MPI, Stuttgart); G. Eggeler (IFM RUB).

**Recent Progress in High Entropy and Compositionally Complex Alloys - Farewell Symposium Easso George (12./13. January 2017):** Speakers: E. George (IFM RUB); A. Dlouhy (IPM, Brno, CZ); Martin Heilmaier (KIT); W. A. Curtin (EPF Lausanne, CH); U. Glatzel (Uni Bayreuth); D. Raabe (MPIE, Düsseldorf); H. Inui (University of Kyoto, Japan); A. Ludwig (IFM RUB); R.O. Ritchie (UC Berkeley, USA); M. Mills (OSU, Columbus, USA); G. Laplanche (IFM RUB); G. Eggeler (IFM RUB).





**Bild 9.8:** 20+1: Konzert. **Fig. 9.8:** 20+1: Concert.



**Bild 9.9:** Bill Curtin trägt am HEA-Seminar vor.  
**Fig. 9.9:** Bill Curtin presenting at the HEA seminar.

**Symposium on Advanced Mechanical and Microstructural Characterization Methods for SX Ni- and Co-based Superalloys (13./14. September 2017):** Speakers: A. Epishin (TU Berlin); C. Meid (DLR Köln); L. Cao (RUB); G. Laplanche (IFM RUB); R. Vaßen (FZ Jülich); T. Kalfhaus (FZ Jülich); D. Bürger (IFM RUB); M. Kolb (FAU); S. Schröders (RWTH, Aachen); S. Korte (RWTH, Aachen); X. Wu (IFM RUB); Y.M. Eggeler (FAU, Erlangen); L. Agudo (BAM, Berlin); M. Lenz (FAU, Erlangen); P. Kontis (MPIE, Düsseldorf); S. Neumeier (FAU, Erlangen); C. Liebscher (MPIE, Düsseldorf); F. Scholz (IFM RUB); J. Frenzel (IFM RUB); M. Schneider (IFM RUB); P. Thome (IFM RUB); A. Kostka (IFM RUB); S. Makineneni (MPIE, Düsseldorf).

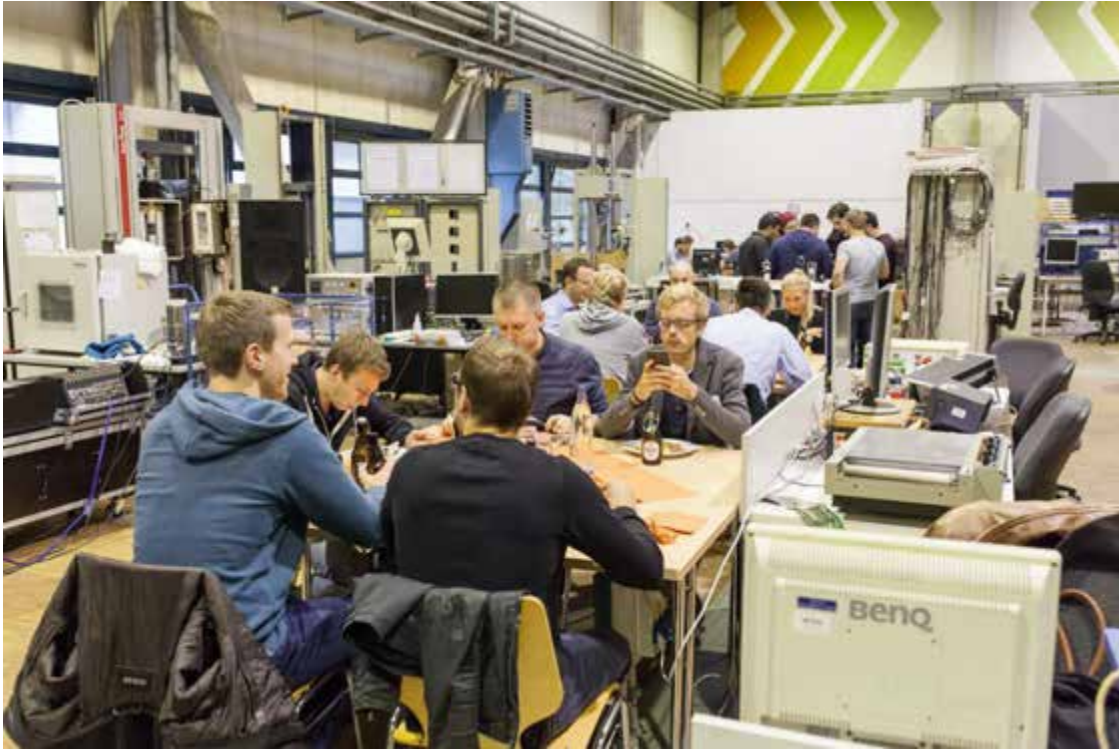
**From Atoms to Turbine Blades – Industrial Colloquium of the SFB/TR 103 (organized as SFB/TR 103 outreach symposium with C. Körner und R. Singer from FAU Erlangen, 6./7. March 2018):** Speakers: G. Eggeler (IFM RUB); D. Roth-Fagaraseanu (Rolls-Royce Deutschland); C. Körner (FAU, Erlangen); R. Rettig (Thermo-Calc, Solna, Schweden); P. Kontis (MPIE, Düsseldorf); M. Göken (FAU, Erlangen); S. Neumeier (FAU, Erlangen); S. Virtanen (FAU, Erlangen); S. Weiser (FAU, Erlangen); I. Steinbach (IFM RUB); D. Bürger (IFM RUB); M. Bartsch (DLR Köln); I. Stoll (MTU Aeroengines); B. Rutttert (IFM RUB); R. Herzog (MAN, Oberhausen); M. Ernsberger (MAN, Oberhausen); R. Vaßen (FZ Jülich).

**50 Jahre Institut für Werkstoffe (veranstaltet gemeinsam mit A. Ludwig und W. Theisen, 13./14. September 2018):** Speakers: G. Eggeler (IFM RUB); A. Ostendorf (Prorektor Forschung RUB); R. Span (Dekan MB RUB); A. Kaysser-Pyzalla (Präsidentin TU Braunschweig); M. Pohl (RUB); T. Li (IFM RUB); G. Laplanche (IFM RUB); F. Scholz (IFM RUB); H. Gleiter (KIT); E. Quandt (Uni Kiel); C. Hades (IFM RUB); W. Theisen (IFM RUB); C. Escher (Dörrenberg, Engelskirchen); J. Spielfeld (Hochschule Schweinfurt); T. Schneiders (Deutsche Edelstahlwerke, Witten); S. Weber (Uni Wuppertal); M. Wagner (TU Chemnitz); A. Luwig (IFM RUB); N. Ziegler (IFM RUB); B. Skrotzki (BAM); C. Großmann (Ingpuls); R. Vaßen (FZ Jülich); R. Drautz (ICAMS RUB).



**Bild 9.10:** Lijie Cao stellt ihre Ergebnisse am Characterization Workshop 2017 vor.  
**Fig. 9.10:** Lijie Cao presenting her results at the Characterization Workshop 2017.





**Bild 9.11:** Gemütliches Beisammensein beim Characterization Workshop in der Versuchshalle des Instituts für Werkstoffe, 2017.

*Fig. 9.11: Gathering during the Characterization Workshop in the Experimental Hall of the Institute for Materials, 2017.*



**Bild 9.12:** 50 Jahre Institut für Werkstoffe – Begrüßung durch Prorektor Andreas Ostendorf.

*Fig. 9.12: 50 Jahre Institut für Werkstoffe – Welcome Address by Andreas Ostendorf.*





**Bild 9.13:** 50 Jahre Institut für Werkstoffe – Vortrag M. Pohl.  
*Fig. 9.13:* 50 Jahre Institut für Werkstoffe – Presentation M. Pohl.



**Bild 9.14:** Vortrag von Thomas Hammerschmidt/ICAMS bei Superalloy Data Science 2020.  
*Fig. 9.14:* Presentation of Thomas Hammerschmidt/ICAMS at Superalloy Data Science 2020.

**Symposium on Superalloy Data Science – Acquisition, Storage, Mining and Machine Learning (organized together with Thomas Hammerschmidt/ICAMS and Uwe Glatzel / Uni Bayreuth, 30./31. January 2020):** Speakers: G. Eggeler (IFM RUB); A. Ludwig (IFM RUB); B. Gault (MPIE, Düsseldorf); L. Ghiringhelli (Fritz Haber Institute, Berlin); T. Hickel (MPIE, Düsseldorf); C. Eberl (IWM Fraunhofer und Uni Freiburg); M.F. Rae (University of Cambridge); A. Dlouhy (IPM Brno); S.R. Kalidindi (Georgia Tech, Atlanta); K. Rajan (University of Buffalo); S. Reese (RWTH, Aachen); Y. Wang (OSU, Columbus); U. Glatzel (Uni Bayreuth); T. Hammerschmidt (ICAMS RUB); E. Bitzek (FAU, Erlangen); I. Roslyakova (ICAMS RUB); P. Thome (IFM RUB).

**Sonstige Seminare.** Unser Lehrstuhl veranstaltet regelmäßig interne Seminare, in denen Studierende über ihre Arbeiten berichten, fortgeschrittene Doktoranden ihre Ergebnisse vorstellen und zu welchen auch externe Gäste beitragen. Das regelmäßige Abhalten von Lehrstuhlseminaren ist gute wissenschaftliche Praxis. Auch wenn diese Seminare für uns wichtig sind, können wir sie hier aus Platzgründen nicht alle nachhalten. Das gilt auch für die Institutsversammlungen des Instituts für Werkstoffe, für die Veranstaltungen des Materials Research Departments der RUB und für die Seminare der International Max Planck Research School SurMat, an denen wir uns immer gerne beteiligen.

*Other seminars. In our group, we organize regular group meetings in which students present the results of their bachelor and master theses; graduate students present research results. Occasionally, external guests participate in these seminars. Regular group seminars are a necessary part of our scientific life. These seminars are important but for reasons of space, we cannot document all these meetings. This also holds for the regular meetings of our Institute for Materials, for the seminars and meetings of the Materials Research Departments of RUB and for the seminars of the International Max Planck Research School SurMat, in which we regularly participate and to which we frequently make contributions.*





## 10. Ehrungen, Preise, neue Aufgaben

Im Berichtszeitraum wurden Mitgliedern unseres Lehrstuhls Ehrungen zuteil. Außerdem wurden eine Reihe wichtiger neuer Aufgaben übernommen. Dies soll hier festgehalten werden. Wir strukturieren dieses Kapitel alphabetisch, nach den Namen der Personen.

## 10. Honors, Awards, New Responsibilities

*Within the reporting period, members of our group received awards and honors. Some of our members also took on new responsibilities. This will be briefly summarized below. This section is organized alphabetically based on people's names.*



**Bild 10.1:** David Bürger (zweiter von rechts) erhält bei der Junior Euromat 2016 in Lausanne den Best Poster Award in der Gruppe Structural Materials. Mit auf dem Bild: Dr. Albano Cavaleiro, Dr. Brett Suddell and Prof. Nikolaos Michailidis. **Fig. 10.1:** David Bürger (second from right) receives a Best Poster Award at Junior Euromat 2016.

**David Bürger:** Bei der FEMS Junior Euromat 2016, die in Lausanne in der Schweiz stattfand, wurde David Bürger mit dem ersten Posterpreis in der Kategorie *Structural Materials* ausgezeichnet. Er untersuchte Scherkriechverhalten ein-kristalliner Superlegierungen. Mit seiner Testmethode kann er ausgewählte makroskopische kristallographische Gleitsysteme bis 1000°C direkt belasten. Die verformten Materialzustände untersuchte er im TEM. So konnte er Versetzungs-

**David Bürger:** At the FEMS Junior Euromat 2016 in Lausanne, Switzerland, David Bürger won the first Poster Award in the topical area of structural materials. He presented his double-shear creep test technique that allows the direct loading of specific macroscopic crystallographic shear systems at temperatures up to 1000°C. The analysis of the deformed material states in the TEM makes it possible to reveal the physical nature of dislocation mechanisms, which govern low

mechanismen neu interpretieren. Anfang 2020, im Anschluss an seine Promotion, übernahm David Bürger die Leitung des Kriechlabors unseres Lehrstuhls.

*temperature and high stress creep. Starting in January 2020, after he had finished his PhD, David Bürger assumed responsibility for our creep laboratory.*



**Bild 10.2:** Gunther Eggeler und Michael Pohl erhielten am DGM-Tag 2020 Preise: Michael Pohl den Netzwerker-Preis und Gunther Eggeler die Heyn-Denkmünze. **Fig. 10.2:** *At the annual materials day of our DGM, Gunther Eggeler and Michael Pohl both were honored: Michael Pohl received the Networker Award and Gunther Eggeler the Heyn Medal.*

**Gunther Eggeler:** Im Berichtszeitraum wurden Gunther Eggeler eine Reihe von Ehrungen zuteil. 2013 erhielt er von der DGM die Networker-Auszeichnung für seine Initiative bei der Gründung des DGM-Regionalforums Rhein-Ruhr. Von der Tschechischen Akademie der Wissenschaften wurde er 2013 in Prag für seine

**Gunther Eggeler:** *Gunther Eggeler received a number of distinctions and awards in the reporting period. At the annual meeting of the German Society of Materials (DGM) 2013, he was honored with the Networker Award for his efforts in establishing the DGM Regional Forum Rhein-Ruhr. From The Czech Academy of*

Beiträge zu den Physikalischen Wissenschaften mit der Ernst-Mach Ehrenmedaille ausgezeichnet. Insbesondere bezog sich die Ehrung auf die über mehr als zwei Jahrzehnte andauernde wissenschaftliche Zusammenarbeit mit Prof. Antonin Dlouhy vom Institute of Physics of Materials/Brno im Bereich der Erforschung der Elementar-mechanismen des Kriechens komplexer Ingenieurwerkstoffe. Das Institut für Metallforschung der chinesischen Akademie der Wissenschaften in Shenyang, China, zeichnete Gunther Eggeler 2013 mit dem Hsun Lee Lecture Award aus. 2020 wurde Gunther Eggeler mit der Heyn-Denk-münze der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM) ausgezeichnet. Die Zeitschrift *Shape Memory and Superelasticity* widmete Gunther Eggeler 2020 ein Sonderheft, um seine Verdienste im Bereich Formgedächtnisforschung zu würdigen.

*Sciences, Gunther Eggeler received the Ernst Mach Medal in Prague in 2013. This award was based on the 20 years of fruitful collaboration with Prof. Antonin Dlouhy from the Institute of Physics of Materials in Brno. In the context of this collaboration, numerous papers were published on the evolution of microstructures on elementary mechanisms, which govern creep of engineering alloys. The Institute of Metals Research of the Chinese Academy of Sciences awarded Gunther Eggeler in 2013 with the Hsun Lee Lecture Award. In 2020, he received the Heyn Medal from the German Society of Materials (DGM). In 2020, a special issue of the Journal Shape Memory and Superelasticity was devoted to Gunther Eggeler in honor of his contributions to the field of shape memory research.*



**Bild 10.3:** Larissa Heep erhält auf der Pacific Rim International Conference PRICM 10 in Xian (August 2019) einen Posterpreis von Prof. Kyosuke Yoshimi von der Tohoku-Universität überreicht. **Fig. 10.3:** Larissa Heep receives the Best Poster Award at the Pacific Rim Conference PRICM in Xian (August 2019) from Prof. Kyosuke Yoshimi of Tohoku University.



**Larissa Heep** erhielt im August 2019 auf der Pacific RIM-Konferenz PRICM 10 in Xian, China, einen Posterpreis. Larissa stellte dort ihre Arbeiten zum Kriechen von Superlegierungen vor.

***Larissa Heep.** In August 2019, she received a Poster Award at the Pacific Rim International Conference PRICM 10, in Xian, China. She presented her work on creep of Ni-base superalloys.*



**Bild 10.4:** Die drei Ingpuls-Gründer mit Ranga Yogeshwar bei der Preisverleihung von TOP 100, 2019. **Fig. 10.4:** *The three Ingpuls founders with TV moderator Ranga Yogeshwar during the TOP 100 award ceremony, 2019. V.l.n.r./LTR.: Christian Großmann, Burkhard Maaß, Ranga Yogeshwar, André Kortmann.*

**Ingpuls:** Die Ingpuls GmbH (siehe: [www.ingpuls.de](http://www.ingpuls.de)) entstand aus einem Spin Off des Instituts für Werkstoffe. Von unserem Lehrstuhl sind Burkhard Maaß und Christian Großmann in der Geschäftsführung, vom Lehrstuhl Werkstofftechnik ist André Kortmann mit dabei. Die Ingpuls GmbH beschäftigt sich mit intelligenten Werkstoffen auf der Basis von Formgedächtnislegierungen. Es ist einerseits erfreulich, dass die Ingpuls GmbH seit ihrer Gründung im Jahr 2009 heute auf

***Ingpuls:** Ingpuls GmbH (see: [www.ingpuls.de](http://www.ingpuls.de)) is a spin-off of our Institute for Materials. Burkhard Maaß and Christian Großmann come from our Chair, André Kortmann, the third member of the Ingpuls board, was a member of Werner Theisen's Chair for Materials Technology. Ingpuls works with smart materials, with a focus on shape memory alloys. Since their founding, Ingpuls was able to grow a business that presently employs more than 50 people. This*

über 50 Mitarbeiter angewachsen ist und damit in Bochum Arbeitsplätze geschaffen hat. Gleichzeitig sind die Leistungen der drei Unternehmensgründer immer wieder in verschiedenen Wettbewerben gewürdigt worden. Gleich zu Beginn gab Auszeichnungen (2009: 3. Platz beim Gründungswettbewerb der Ruhr-Universität Bochum). 2010: 1. Platz beim bundesweiten Businessplanwettbewerb. 2011: Transferpreis der RUB. Im Jahr 2016 erhielt Ingpuls den Wachstums- und Innovationspreis Ruhr von der Stadt Bochum. Gegen Ende des Berichtszeitraums, 2019, erreichte Ingpuls gar den ersten Platz im nationalen Wettbewerb DE-TOP 100 Innovator des Jahres in der Kategorie A bis 50 Mitarbeiter. Wir gratulieren ganz herzlich.

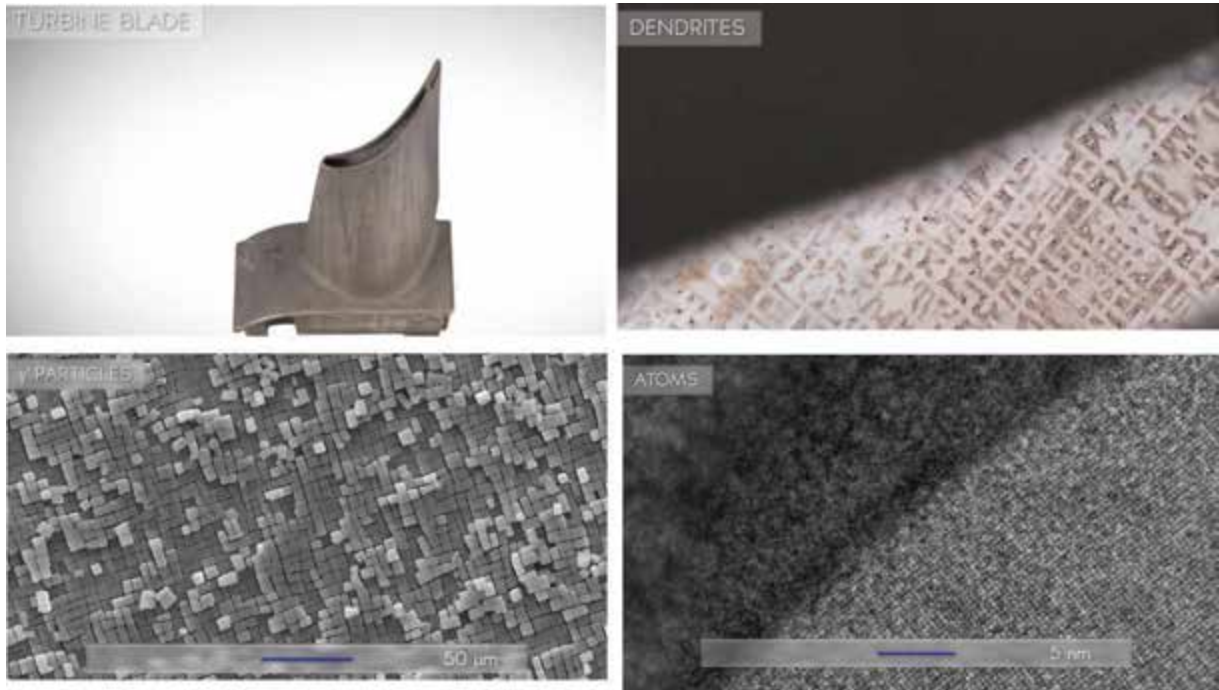
**Norbert Lindner, Alireza B. Parsa, Kornelia Strieso (Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft RUB) und Benjamin Römer (Crossfade Mediengestaltung, Wuppertal):** Für ein Movie, das eine skalenerübergreifende Reise von der Makroskala in die Welt der Atome einer Ni-Basis-Superlegierung zeigt, erhielt die von Norbert Lindner an der RUB koordinierte Gruppe, unterstützt von einem externen Medienspezialisten, den Best Poster Award bei der 49. Metallographie-Tagung in Dresden, September 2015. Der Best Poster Award wurde von der Struers GmbH gestiftet.

Das Video kann bei YouTube unter: <https://www.youtube.com/watch?v=wYHch5QIWTQ> eingesehen werden. Es wurde im Oktober 2015 eingestellt und hatte gegen Ende des Berichtszeitraums mehr als 13000 Zugriffe.

*creation of employment opportunities is important for our Ruhr area. The three Ingpuls directors received awards for their business performance in different competitions. Right at the start, they placed third in RUB's 2009 founding competition, achieved first place in the federal competition for the best business plan in 2010 and won the RUB Transfer Competition in 2011. In 2016, Ingpuls won the Growth and Innovation Award of the City of Bochum. Toward the end of the reporting period, in 2019, Ingpuls got the first price in the national competitions DE-TOP 100 Innovator in category A for companies with up to 50 employees. We congratulate Ingpuls!*

**Norbert Lindner, Alireza B. Parsa, Kornelia Strieso (Chair for Materials Science, RUB) and Benjamin Römer (Crossfade – Digital Media Designer, Wuppertal):** For a film showing a scale-bridging journey from the macro scale into the world of atoms of a Ni-base superalloy blade, a group coordinated by Norbert Lindner from our Chair, supported by external media experts, received the Best Poster Award at the 49th Metallography meeting in Dresden, September 2015. The Best Poster Award was sponsored by the Struers GmbH.

*The video can be seen in YouTube at <https://www.youtube.com/watch?v=wYHch5QIWTQ>. It was uploaded in October 2015 and had already almost 4000 clicks only one year later. Toward the end of the reporting period, more than 13000 visitors have viewed the page.*



**Bild 10.5:** Ausschnitte aus dem skalenübergreifenden Movie, für das die Gruppe um Norbert Lindner bei der Metallographietagung 2015 den Best Poster Award erhielt.

Im YouTube unter: <https://www.youtube.com/watch?v=wYHch5QIWTQ>

**Fig. 10.5:** *Snapshots from the scale-bridging movie, for which Norbert Lindner's group received the Best Poster Award at the DGM Metallography Meeting 2015 in Dresden. On YouTube at <https://www.youtube.com/watch?v=wYHch5QIWTQ>*

**Oliver Kastner:** Der frühere Leiter unserer Modellierungsgruppe, Oliver Kastner, wurde zum 1. Januar 2016 in einer gemeinsamen Berufung des Instituts für Solarenergieforschung des Landes Niedersachsen und der Leibniz-Universität Hannover zum Professor ernannt. Oliver hatte 2010 mit seinen atomaren Simulationen zur martensitischen Umwandlung habilitiert (O. Kastner: *First Principles Modelling of Shape Memory Alloys*, Springer-Verlag 2012). Er hat uns 2011 verlassen, um sich wieder stärker seinem ursprünglichen Forschungsgebiet, der Thermodynamik, zuzuwenden. Am Deutschen Geoforschungszentrum Potsdam beschäftigte er sich mit regenerativer Energieforschung und Geothermie. Seit Januar 2011 leitet er eine Abteilung an einem Institut für Solarenergieforschung und vertritt dieses Fach an der Leibniz-Universität. Oliver Kastner hat auch nach

**Oliver Kastner:** *Before ICAMS was established at the Ruhr-University Bochum, our Chair had a modeling group. The head of the group, Oliver Kastner, was interested in macroscopic and microscopic aspects of martensitic transformations. He obtained a habilitation (qualification for a professorship) in 2010. His work was published in the Springer Series of Materials Science (O. Kastner: *First Principles Modelling of Shape Memory Alloys*, Springer-Verlag 2012). Oliver left us in 2011 to return to his thermodynamic roots. In the German Geo Center Potsdam, he worked on renewable energies with a focus on geothermal energy. Since January 2016, Oliver Kastner has been a Professor for Solar Energy Systems. He heads a department at the Institute for Solar Energy Research in Hameln/Emmenthal, where he teaches Solar Energy Systems as a Professor in the Mechanical Engineering*



wie vor Interesse an Formgedächtnislegierungen und ist auch in diesem Bereich aktiv.

**Ramona Rynko:** Bei der Studienabschlussfeier des Jahres 2012, wurde Ramona Rynko vom Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft für ihre hervorragende Masterarbeit mit dem Bosch-Rexrodt-Preis der Fakultät für Maschinenbau ausgezeichnet. Der Titel Ihrer Masterarbeit war transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen zur Mikrostruktur einer Co-Re basierten Hochtemperaturlegierung.

*Department of Leibniz University Hanover. Oliver has maintained a keen interest in the field of shape memory alloys and stays active in this field.*

**Ramona Rynko:** *At the graduation ceremony of the Department of Mechanical Engineering 2012, Ramona Rynko from our group received the Bosch-Rexrodt Award of our department that honors an excellent master thesis. In her master thesis, Ramona investigated the microstructure of Co-Re based structural high-temperature alloys, combining heat treatments with analytical transmission electron microscopy.*



**Bild 10.6:** Ramona Rynko (zweite von rechts) erhält 2012 für ihre Masterarbeit den Bosch-Rexrodt Preis der Fakultät für Maschinenbau. Links: Dekan Prof. Werner Theisen. Rechts: Dr. C. Lamparski von Bosch-Rexrodt. **Fig. 10.6:** *Ramona Rynko (2nd from right) receives the Bosch-Rexrodt Award of the Department of Mechanical Engineering for her excellent master thesis, 2012. Left: Dean Prof. Werner Theisen. Right: Dr. C. Lamparski from Bosch-Rexrodt.*



**Bild 10.7:** Birgit Skrotzki als Session Chair bei IFW 50, 2018. Sprecher: Jörg Spielfeld.  
**Fig. 10.7:** *Birgit Skrotzki chairing a session at the 50th anniversary of our institute. Speaker: Jörg Spielfeld.*

**Birgit Skrotzki:** Prof. Dr.-Ing. Birgit Skrotzki, die zu meiner Anfangszeit am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft als Oberingenieurin am Lehrstuhl tätig war und als erste Frau im Bochumer Maschinenbau habilitierte, ist seit 2003 an der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin tätig. Seit einigen Jahren ist sie auch Professorin an der TU Berlin. Im Jahr 2016 wurde sie von der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde mit der Tammann-Münze ausgezeichnet. Die Tammann-Gedenkmünze ehrt DGM-Mitglieder, die sich als Leiter einer wissenschaftlich arbeitenden Forschergruppe um die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik durch ein weitreichendes wissenschaftliches Forschungs- oder technisches Entwicklungskonzept verdient gemacht haben. Sie wird höchstens einmal jährlich an eine Einzelperson verliehen und soll an Gustav Tammann erinnern, der die Metallkunde als eine physikalisch-chemische Wissenschaft begründet hat.

**Birgit Skrotzki:** *Shortly after I started work in Bochum in 1995, Prof. Dr.-Ing. Birgit Skrotzki took over the administrative management of our group as Chief Engineer. She also was the first woman to obtain a habilitation degree from the department of Mechanical Engineering at RUB. Since 2003, she has successfully worked at the BAM, our German Federal National Institute for Materials Science and Testing. For a few years now, she has also been an Adjunct Professor at the TU Berlin. In 2016, she received the Tammann Medal from the German Society of Materials (Deutsche Gesellschaft für Materialkunde, DGM). The Tammann Medal honors scientists who have led a research group and have contributed to a far-reaching scientific concept that improves our understanding of materials science and technology. It is awarded once a year to individual researchers. It is bestowed in memory of Gustav Tammann, one of the fathers of our field with roots in physical chemistry.*



**Bild 10.8:** Mike Schneider (Mitte) erhält Best Poster Award an der ICSMA 18 von Peter Anderson (links) und John Hirth (rechts). **Fig. 10.8:** Mike Schneider (middle) received a Best Poster Award at ICSMA 18 from Peter Anderson (left) and John Hirth (right).

**Mike Schneider:** Mike Schneider wurde auf der ICSMA 18 für seine Arbeiten zu Hochentropielegierungen mit einem Best Poster Award ausgezeichnet. Dafür erhielt er von Peter Anderson (Chairman des Materials Science Departments der Ohio State University) und John Hirth (Mitautor der ersten Auflage von Theory of Dislocations) eine Ausgabe der dritten Auflage dieses Standardwerks, bei dem Peter Anderson als Mitautor zeichnet.

**Mike Schneider:** For his work on high-entropy alloys, Mike Schneider received a Best Poster Award at ICSMA 18. From Peter Anderson (Chair of the Materials Science Department) and from Prof. John Hirth (co-author of the first edition of the seminal text book Theory of Dislocations) he received a hard copy of the third edition of this book, which Peter Anderson has updated. The authors of the third edition are now: P. M. Anderson, J. P. Hirth and J. Lothe.

**Martin Stratmann:** Prof. Martin Stratmann, der als Direktor des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung an unserem Institut für Werkstoffe für die Lehre im Bereich Oberflächenforschung und Korro-

**Martin Stratmann:** Prof. Martin Stratmann, was one of the directors of the MPIE in Düsseldorf. He is associated with our Institute for Materials, where he covered the topics of surface science and corrosion



sion zuständig war, wurde im Juni 2014 zum Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft berufen und scheidet damit als Partner im Tagesgeschäft aus. Martin Stratmann war maßgeblich an vielen Entwicklungen beteiligt, die uns über die Jahre als Bochumer Materialwissenschaftler geprägt und gestärkt haben. Dies betrifft insbesondere die Einrichtung der International Max Planck Research School SurMat aber auch die entscheidenden Impulse, die er bei der Einrichtung von ICAMS gegeben hat. Wir bedauern, dass er nicht mehr unter uns wirken kann, auch wenn er nach wie vor mit uns als Mitglied unserer Fakultät verbunden ist.

*in our curriculum. In June 2014, he was elected as the new President of the Max Planck Society. We congratulate him for having achieved such an important position. We regret he can no longer work with us and we miss his input. Martin Stratmann was the driver behind the International Max Planck Research School SurMat, an important milestone for the development of Materials Science at our university. He also helped to establish our modelling center ICAMS. Martin Stratmann remains a member of our faculty, even though his new position does not leave a lot of leeway for joining us in Bochum.*



**Bild 10.9:** Pascal Thome (links) erhält den Best Poster Award auf der ESOMAT 2015 in Antwerpen. Rechts im Bild: ESOMAT chairman Prof. Nick Schryvers. **Fig. 10.9:** Pascal Thome (left) received the Best Poster Award of ESOMAT 2015 in Antwerp. On the right: ESOMAT chairperson Prof. Nick Schryvers.

**Pascal Thome:** 2015 erhielt Pascal Thome gleich zwei Best Poster Awards. Auf der Tagung EBSD 2015 in Glasgow, Schottland, wurde er mit dem Best Poster Award ausgezeichnet. Er zeigte, wie martens-

**Pascal Thome:** In 2015, the work of Pascal Thome won two Best Poster Awards, one at the EBSD 2015 in Glasgow, Scotland, and another at the EBSD 2015 in Antwerp, Belgium. In

sitische Mikrostrukturen in binären Fe-Ni-Legierungen mittels EBSD quantitativ beschrieben werden können. Insbesondere konnte er zeigen, dass die Orientierungsbeziehungen maßgeblich von der chemischen Zusammensetzung der Legierungen bestimmt werden. Bei der EBSD 2015 konzentrierte sich Pascal Thome auf methodische Aspekte. Auch bei der ESOMAT 2015 in Antwerpen, Belgien, erhielt Pascal einen Best Poster Award. Dort stellte er materialwissenschaftliche Aspekte der martensitischen Phasenumwandlung in den Vordergrund. Aus der phänomenologischen Theorie der Martensitbildung leitete er neue kristallographischen Zusammenhängen zwischen Austenit und Martensit ab. Dabei verwendete er auch röntgenographische Messungen von Gitterkonstanten.

*Glasgow, he presented a new method on how to characterize martensitic microstructures in binary FeNi alloys using orientation imaging scanning electron microscopy. He showed that orientation relationships are affected by alloy compositions. While the presentation in Scotland focused on methodological aspects – how to use orientation imaging scanning electron microscopy to describe best martensitic microstructures – the presentation in Antwerp highlighted materials science aspects. The EBSD 2015 poster showed that orientation relationships in martensitic Fe-Ni alloys depend on alloy composition. In Antwerp, Pascal interpreted EBSD SEM and X-ray data and gained new insights into the crystallographic relationships between austenite and martensite.*



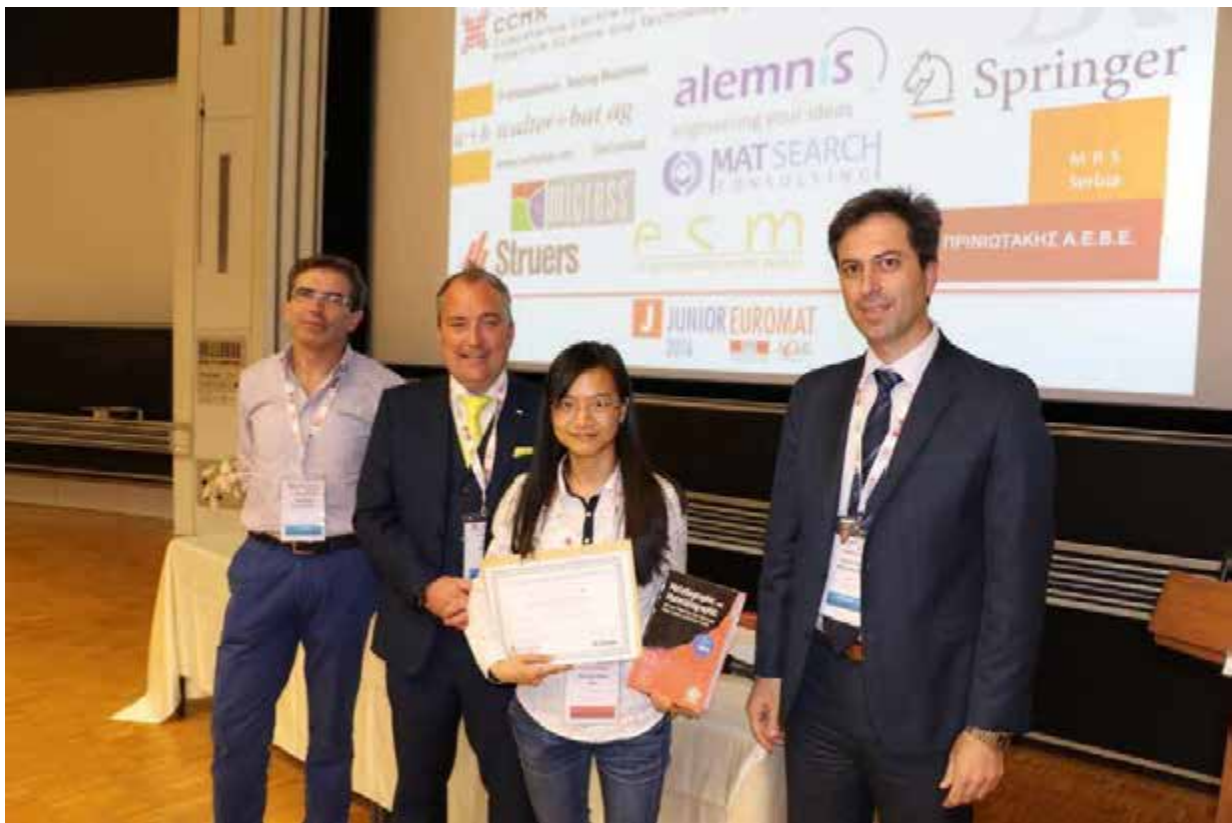
**Bild 10.10:** Martin Wagner (links) am Adelbodener Skiseminar, 2014.

*Fig. 10.10: Martin Wagner (left) at the Adelboden Skiseminar, 2014.*



**Xiaoxiang Wu:** Bei der FEMS Junior Euromat 2016 in Lausanne, wurde Xiaoxiang Wu mit dem zweiten Posterpreis in der Kategorie Modelling and Characterization ausgezeichnet. Sie stellte ihre mikrostrukturellen Ergebnisse vor, die sie mit Hilfe der Durchstrahlungselektronenmikroskopie erzielte. Insbesondere untersuchte sie, warum man beim Kriechen einkristalliner Ni-Basis-Superlegierungen bei niedrigen Temperaturen ( $T < 800^{\circ}\text{C}$ ) und hohen Spannungen ( $\sigma > 700\text{MPa}$ ) zwei Kriechratenminima beobachtet. Sie konnte dieses Phänomen auf der Grundlage elementarer Versetzungsprozesse erklären.

**Xiaoxiang Wu:** At the FEMS Junior Euromat 2016 in Lausanne, Switzerland, Xiao Wu won the second Poster Award in the topical area of modeling and characterization. She presented her diffraction contrast TEM results, which help to understand a specific type of creep behavior of single crystal superalloys. In the low-temperature ( $T < 800^{\circ}\text{C}$ ) and high-stress ( $\sigma > 700\text{MPa}$ ) creep regime, two creep rate minima are observed. Xiao could explain both minima on the basis of the dislocation mechanisms that govern creep.



**Bild 10.11:** Xiaoxiang Wu receiving a best poster award at FEMS Junior Euromat 2016.  
**Fig. 10.11:** Xiaoxiang Wu receiving a Best Poster Award at FES Junior Euromat 2016.



## 11. Gäste

In diesem Abschnitt berichten wir über unsere Gäste, die im Berichtszeitraum an unserem Lehrstuhl waren. Austausch mit Wissenschaftlern aus aller Welt gehört zur Forschung im Fach Werkstoffwissenschaft. Für unsere Studierenden ist es auch interessant, Studentinnen und Studenten ausländischer Universitäten kennenzulernen.

### 11.1 Forschungsaufenthalte

Hier halten wir kurz die Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftler fest, die einen längeren Aufenthalt bei uns verbracht haben und mit denen wir gemeinsam geforscht haben. Dabei listen wir sie in alphabetischer Reihenfolge auf.

*Dr. Theocharis Baxevanis*, Texas A&M University, January 11-25, 2012, June 26-29, 2012;  
Zusammenarbeit / Collaboration: Fracture mechanics of shape memory alloys

*Dr. Somjeet Biswas*, Indian Institute of Science, AvH Fellow, December 1, 2013-June 30, 2014; Zusammenarbeit / Collaboration: Pseudoelasticity in NiTi shape memory alloys



**Bild 11.1:** Somjeet Biswas mit Ehefrau treffen Bundespräsident Joachim Gauck beim AvH-Jahrestreffen 2014. **Fig. 11.1:** Somjeet Biswas and his wife meet President Joachim Gauck at the AvH annual meeting in 2014.

## 11. Guests

*This section is about the guests who visited us in the reporting period. The exchange of ideas with material scientists from all over the world is a central element of our research, and we benefit enormously from having external guests with us. For our students it is of prime value to meet and work with students from other countries.*

### 11.1 Research Stays

*In this section, we list our scientific guests, who stayed and worked with us for a longer period of time. For reasons of space, we cannot go into much detail regarding their work. Our guests appear in alphabetical order.*

*Prof. Joël Bonneville*, Université de Poitiers, May 28-June 10, 2016; Zusammenarbeit / Collaboration: Measurement/interpretation of activation volumes

*Prof. George Cailletaud*, Mines Paris Tech, June 3-6, 2019; Zusammenarbeit / Collaboration: Multiaxial creep of single crystal superalloys

*Prof. Suhash Dey*, IIT Hyderabad, May 16-July 31, 2012; Zusammenarbeit / Collaboration: Micro shear testing of single crystals

*Prof. James Earthman*, UC Irvine, May 17-22, 2015, May 7-25, 2018; Zusammenarbeit / Collaboration: Mechanical properties of medical materials

*Prof. Jean-Briac Le Graverend*, Texas A&M, College Station, AvH Fellow, June 3-August 25, August 2018, June 3-August 31, 2019; Zusammenarbeit / Collaboration: Modelling of damage evolution in single crystal superalloys

*Prof. Haruyuki Inui*, Kyoto University, May 14-16 and August 19-22, 2018; Zusammenarbeit / Collaboration: Micromechanics

*Prof. Vida Khalili*, University of Bonap, Iran, July 3-October 31, 2017, March 9-April 9, 2018, July 1- August 31, 2018; Zusammenarbeit / Collaboration: Shape memory alloys and bone replacement materials – medical applications

*Prof. Sergey Kustov*, University of the Balearic Islands, Palma de Mallorca, July 8-14, 2018; Zusammenarbeit / Collaboration: Processing of special metals (magnetic systems)



**Bild 11.2:** Sergey Kustov und Marcus Young am Rasterelektronenmikroskop, Sommer 2018.  
**Fig. 11.2:** Sergey Kustov and Markus Young work at the SEM, summer 2018.

*Dr. Peng Li*, Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metals Research, Chinese Academy of Sciences, AvH Fellow, September 3, 2015-April 30, 2017; Zusammenarbeit / Collaboration: In-situ Mikro-/Nanomechanics

*Prof. Jaume Pons*, University of the Balearic Islands, Palma de Mallorca, May 22-25, 2019; Zusammenarbeit / Collaboration: High temperature shape memory alloys

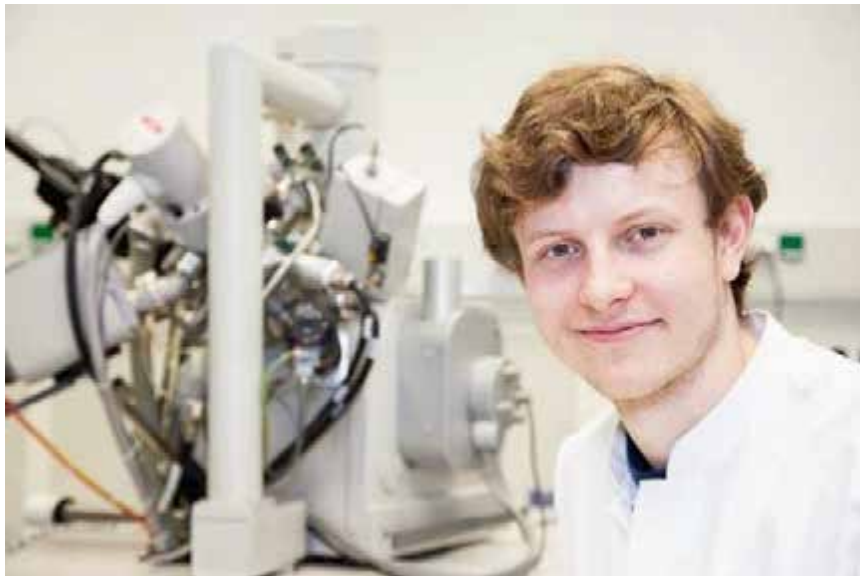
*Prof. Indrani Sen*, IIT Kharagpur, AvH Fellow, May 3-July 31, 2018; Zusammenarbeit / Collaboration: Additive manufacturing of shape memory alloys

*Prof. Roy Shibahab*, Kharagpur, AvH Fellow, May 3-July 31, 2018; Zusammenarbeit / Collaboration: Orientation imaging scanning electron microscopy

*Dr. Alexander Straumal*, Russian Academy of Sciences, Institute for Solid State Physics, Chernogolovka, June 18-23, 2018, December 11-22, 2018; Zusammenarbeit / Collaboration: Phase transformations in Mg-alloys

*Dr. Yao Xiao*, Tsinghua University, Beijing, AvH Fellow, May 1, 2019-March 31, 2021; Zusammenarbeit / Collaboration: Shape memory alloys and high entropy alloys

*Prof. Tamas Ungar*, Eötvös University Budapest, June 10-16, 2012, August 19-22, 2015; Zusammenarbeit / Collaboration: XRD analysis of fracture mechanic shape memory specimens



**Bild 11.3:** Alexander Straumal am SEM. **Fig. 11.3:** Alexander Straumal at the SEM.

*Prof. Vijay Vasudevan*, University of Cincinnati, June 10-August 31, 2013; Zusammenarbeit / Collaboration: Formation of  $\omega$ -phase in TiTa

*Dr. Alejandro Yawny*, Inst. Atomico de Bariloche, August 17-29, 2015, Zusammenarbeit / Collaboration: Applications of shape memory alloys

*Prof. Kyosuke Yoshimi*, Tohoku University, Sendai, May 25-30, 2018; Zusammenarbeit / Collaboration: Mechanisms of high temperature deformation



*Dr. Christopher Zenk*, The Ohio State University, AvH Rückkehr-Stipendium, August 15, 2019-July 31, 2020; Zusammenarbeit / Collaboration: Microstructural evolution during creep of single crystal superalloys

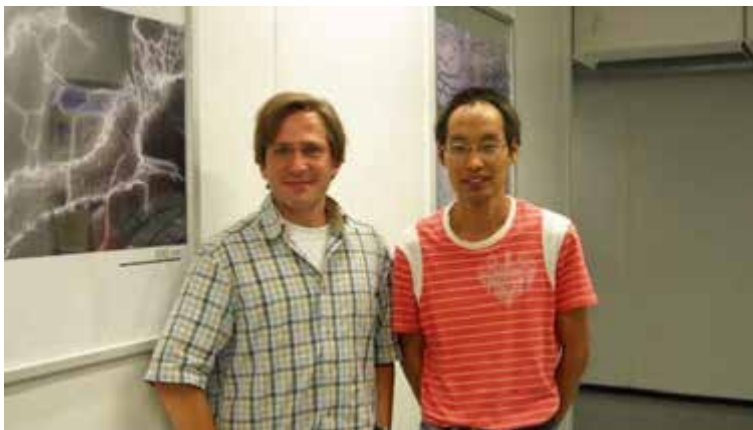
*Prof. Zhonghua Zhang*, Shandong University, August 5-31, 2013, July-August 2014, September 3-30, 2016; Zusammenarbeit / Collaboration: Nano-porous alloys



**Bild 11.4:** Zhonghua Zhang (links) und Vida Khalili (rechts) mit Angehörigen am Institutsausflug 2014.

*Fig. 11.4:* Zhonghua Zhang (left) and Vida Khalili (right) with family members, Institute for Materials Outing 2014.

*Dr. Hongxing Zheng*, Shanghai University, AvH Fellow, June 15-August 31, 2012; Zusammenarbeit / Collaboration: Magnetic shape memory alloys



**Bild 11.5:** Jan Frenzel mit Hongxing Zheng, 2012.

*Fig. 11.5:* Jan Frenzel with Hongxing Zheng, 2012.

## 11.2 Kurzbesuche/Vorträge

Einige Gäste besuchten uns nur für einen oder zwei Tage. Wir listen ihre Vorträge in diesem Abschnitt auf. Wir führen hier auch die Vorträge auf, die von unseren Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftlern (siehe oben) gehalten wurden.

*Prof. Joël Bonneville*, Université der Poitiers, Institut Physical Metallurgy; June 13, 2016, Vortrag/Presentation: New insights into elementary dislocation mechanisms by imaging slip traces at the atomic scale

*Ashley Bucsek*, Colorado School of Mines; December 15, 2017, Vortrag/Presentation: Observing evolving microstructures of shape memory alloys with high-energy synchrotron diffraction techniques

*Prof. Gerhard Dehm*, Erich-Schmid-Institut, Leoben; September 4, 2012, Vortrag/Presentation: Kupfer ist nicht gleich Kupfer! Neue Einblicke in das mechanische Verhalten bei kleinen Dimensionen

*Prof. Suhash Ranjan Dey*, IIT Hyderabad, Materials Science and Engineering; July 27, 2012, Vortrag/Presentation: Friction stir welding of dissimilar alloys: An introduction with recent results

*Prof. Qiang (Charles) Feng*, University of Science and Technology Beijing; June 21, 2016, Vortrag/Presentation: Computational design and deformation mechanisms in Co-Al-W based superalloys

*Dr. Baptiste Gault*, MPIE Düsseldorf; July 8, 2016, Vortrag/Presentation: Atom probe analysis of metallic materials

*Prof. Marc de Graef*, Carnegie Mellon University; July 14, 2014, Vortrag/Presentation: Recent advances in forward modelling in electron microscopy; July 15, 2014, Vortrag/Presentation: Music by the numbers: An attempt to understand why certain musical chords sound better than others

*Prof. Antoine Guitton*, Université de Lorraine, Metz; March 19, 2019, Vortrag/Presentation: Accurate ECCI

*Dr. Yasushi Hasegawa*, Nippon Steel & Sumimoto Metal Corporation and Tohoku University; January 30, 2013, Vortrag/Presentation: Creep strengthening possibilities by boundary precipitation

*Prof. Kevin Hemker*, The John Hopkins University, Baltimore; September 24, 2018, Vortrag/Presentation: Metal MEMS Materials – Ni Mo W

*Prof. Jose San Juan*, University of the Basque Country, Bilbao; November 8, 2018, Vortrag/Presentation: Shape memory alloy behavior on the nano scale

## 11.2 Short Visits/Presentations

*In the reporting period, we had many short-term visitors, who presented their work and with whom we exchanged ideas. Below, we list the titles of their presentations. We also include presentation titles from our longer-term guests.*

*Shiho Yamamoto Kamata*, Tohoku University, Sendai; 2 June 21, 2018, Vortrag/Presentation: Ultrahigh-temperature tensile creep testing of TiC-reinforced Mo-Si-B alloy

*Dr. Bernd Kempf*, Umicore Hanau; May 20, 2016, Vortrag/Presentation: Pulvermetallurgische Kontaktwerkstoffe

*Prof. Vida Khalili*, University of Bonap, Iran; April 7, 2014, Vortrag/Presentation: Biomedical coatings on NiTi shape memory alloys

*Prof. Daniel Kiener*, Institute for Material Physics, Montanuniversität Leoben; July 2, 2013, Vortrag/Presentation: Understanding mechanical properties from highly localized in-situ TEM experiments

*Prof. Sergey Kustov*, University of the Balearic Island, Palma de Mallorca; July 12, 2018, Vortrag/Presentation: Some aspects of domain wall dynamics in ferroic materials

*Prof. Jean-Briac Le Graverend*, Texas A&M, College Station; July 5, 2018, Vortrag/Presentation: Damage and microstructure in Ni-based single crystal superalloys

*Dr. Sarah Löwy*, Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, Stuttgart; December 11, 2015, Vortrag/Presentation: Modulated time/temperature dependence of lath martensite formation

*Dr. Didier Long*, CNRS Solvay; December 3, 2014, Vortrag/Presentation: Unique non-linear recovery behaviour of nano-filled elastomers and thermoplasts

*Prof. Indranil Manna*, IIT Kharagpur; October 10, 2019, Vortrag/Presentation: Microstructural evolution in laser assisted material processing and surface engineering of metallic systems

*Prof. Mike Mills*, The Ohio State University; February 29, 2012, Vortrag/Presentation: STEM defect analysis

*Dr. Carlos Capdevila Montes*, CENIM-CSIC, Madrid; December 11, 2015, Vortrag/Presentation: Spinodal decomposition in Fe-Cr-Al

*Prof. Catherine Rae*, University of Cambridge; July 11, 2013, Vortrag/Presentation: Recent progress in Ni-based single crystal research

*Prof. Indrani Sen*, IIT Kharagpur; July 5, 2018; Vortrag/Presentation: On the microstructure/property correlations of ferrous and non-ferrous materials

*Prof. Shibayan Roy*, IIT Kharagpur; June 21, 2018, Vortrag/presentation: Concept of the EBSD technique and its utility in materials research: A practitioner's experience story

*Dr. Wilfried Smarsly*, MTU Aeroengines AG, München; December 18, 2015, Vortrag Presentation: Stand der Forschung und Entwicklung zum Turbinenschaufelwerkstoff TiAl

*Prof. Mirle Surappa*, Director IIT Ropar, Punjab; September 17, 2012, Vortrag/Presentation: Magnesium based nano composites





**Bild 11.6:** Indrani Sen mit Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier beim AvH-Jahrestreffen 2018.

*Fig. 11.6: Indrani Sen with President Frank-Walter Steinmeier at the AvH annual meeting in 2018.*

*Prof. Aaron P. Stebner*, Colorado School of Mines; October 6, 2015, Vortrag/Presentation: Studying the micromechanics of martensitic phase transformations using high energy diffraction microscopy; November 15, 2018, Vortrag/Presentation: Combined data driven and machine learning approaches to optimize for metals additive manufacturing

*Dr. Alexander Straumal*, Laboratory of Interfaces in Metals, Institute for Solid State Physics of the Russian Academy of Sciences; June 2018, Vortrag/Presentation: Pseudopartial wetting of grain boundaries

*Prof. Ichiro Takeuchi*, University of Maryland; November 15, 2018, Vortrag/Presentation: So what do you do with a combinatorial materials discovery? Answer: Start an elastocaloric cooling company!

*Dr. Michael Titus*; UC Santa Barbara; July 29, 2013, Vortrag/Presentation: Single crystal microstructure, properties and tensile creep deformation of Co-based superalloys

*Prof. Tamás Ungár*, Eötvös University Budapest; June 12, 2012, Vortrag/Presentation: Dislocations and long-range internal stresses in  $\gamma/\gamma'$ -microstructures of Ni-base superalloys – An X-ray diffraction study

*Prof. Vijay K. Vasudevan*, University of Cincinnati; July 25, 2013, Vortrag/Presentation: Advanced surface treatment induced changes in structure and properties of metallic materials

*Prof. Marcus Young*, University of North Texas; November 25, 2014, Vortrag/Presentation: The use of synchrotron radiation in archeometallurgy; July 5, 2018, Vortrag/Presentation:

Processability and advanced characterization of high temperature shape memory alloys for aerospace applications

### 11.3 Studenten/Praktikanten

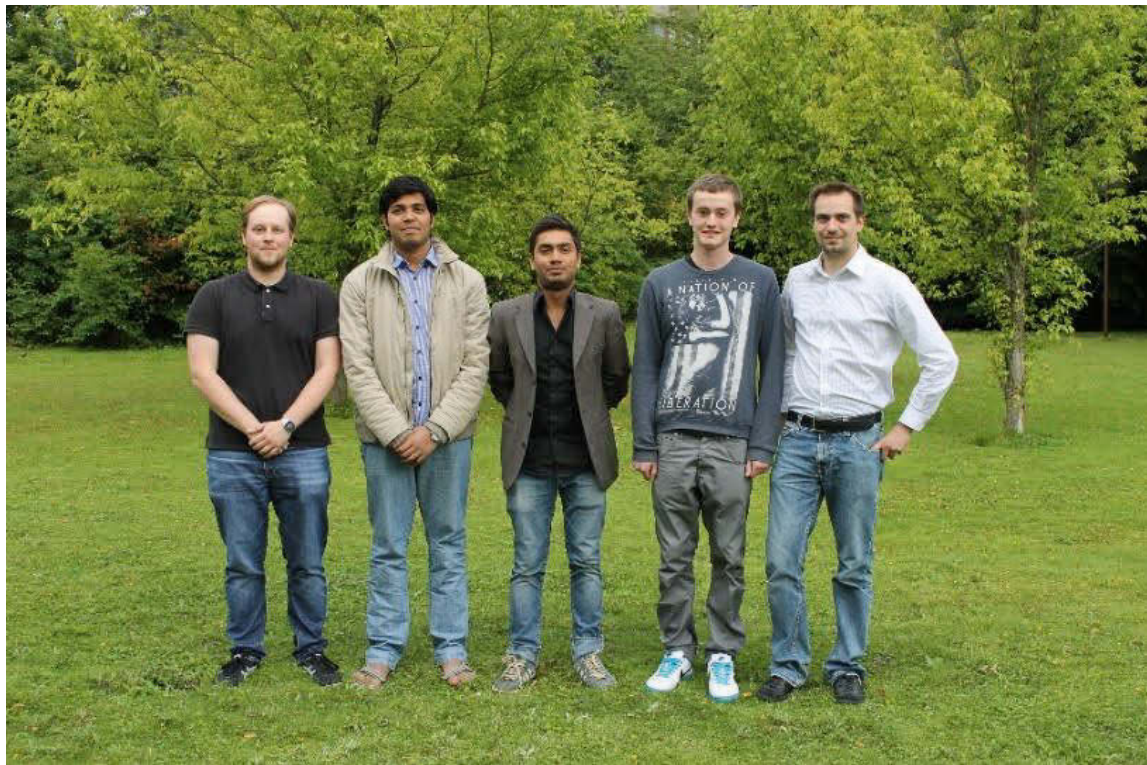
Studierende aus aller Welt, die uns besucht und teilweise über einen längeren Zeitraum bei uns waren, haben unser Lehrstuhl-Leben bereichert. Es gab kurze und lange Aufenthalte mit verschiedenen Hintergründen. Wir listen hier alle Austauschstudenten in alphabetischer Reihenfolge auf:

*Atul Agrawal*, Banaras Hindu University, India, May 11-August 2, 2012; project work on creep of superalloys

*Marta Alvarez*, CENIM-CSIS, Madrid, Spain, May 28-June 10, 2015; project work on creep mechanisms of light metals

### 11.3 Exchange Students/Interns

*It is great to have students from other countries and from other parts of the world studying with us. They come for different reasons – either they want to widen their outlook or because in their study program, they need an external internship. Some also came to advance work on a joint paper. In alphabetic order:*



**Bild 11.7:** Hinrich Buck (links) und Philip Wollgramm (rechts) mit Atul Agrawal, Akshit Jain (beide Banaras Hindu University) und Henry Borill (University of Oxford). **Fig. 11.7:** *Hinrich Buck (left) and Philip Wollgramm (right) with Atul Agrawal, Akshit Jain (both Banaras Hindu University) and Henry Borill (University of Oxford).*

*Henry Borill*, University of Oxford, UK, July 2-August 15, 2012; project work on shape memory alloys

*Ashley Buschek*, Colorado School of Mines, United States, December 12-18; presentation on diffraction studies of martensitic transformations

*Romain Caniou*, INSA Rennes, France, May 16-September 16, 2017; project work on high entropy alloys

*Austin Cox*, Texas A& M, College Station, United States, July 9-August 10, 2012; project work on fracture mechanics of shape memory alloys

*Akshit Jain*, Banaras Hindu University, India, May 11-August 2, 2012; project work on creep of superalloys

*Shiho Kamata*, Tohoku University, Sendai, Japan; May 28-June 30, 2018; work on joint publication on MoSiB alloys

*Elisa Janzen Kassab*, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil, April 1, 2010-March 31, 2012; project work on corrosion of shape memory alloys for medical applications

*Tanguy Manescau*, ENSIACET, Toulouse, France, May 5-September 8; project work on high entropy alloys

*Sean Mills*, The Ohio State University, Columbus, United States, May 7-August 7, 2014 project work on processing, characterization and creep of superalloys



**Bild 11.8:** Sean Mills von der Ohio State University im Kriechlabor.  
**Fig. 11.8:** Sean Mills from The Ohio State University in the Creep Lab.

*Sinead Mottishaw*, University of Oxford, UK, July 18-August 30, 2012, project work on shape memory alloys



*Rob Rhein*, UC Santa Barbara; September 17, 2014; presentation on single crystal microstructures, properties and tensile creep deformation of Co-based superalloys



**Bild 11.9:** Mustafa Rahim mit Austin Cox von Texas A&M (links) und Safa Mogharebi mit Sinead Mottishaw aus Oxford (rechts).

*Fig. 11.9:* Mustafa Rahim with Austin Cox from Texas A&M (left) and Safa Mogharebi with Sinead Mottishaw from Oxford (right).

*Zhixun Wen*, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China, November 3-30, 2013; project work on pore damage in superalloys

*Matsuo Yasutaka*, Toyohashi University, Japan, January 7-February 21, 2019; project on TEM characterization of steels

## 12. Forschungsarbeiten

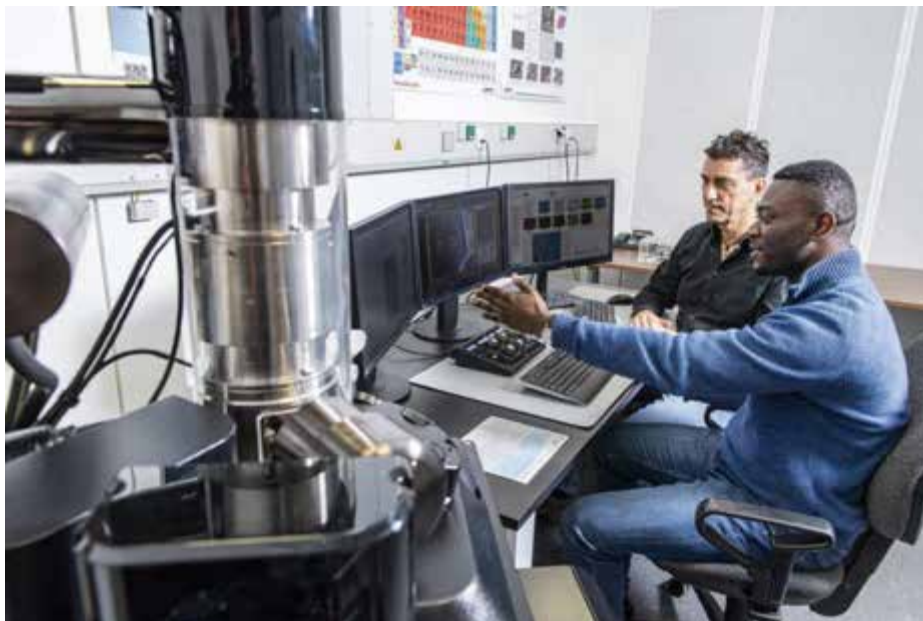
## 12. Research Projects

### 12.1 Laufende Arbeiten

### 12.1 Ongoing Projects

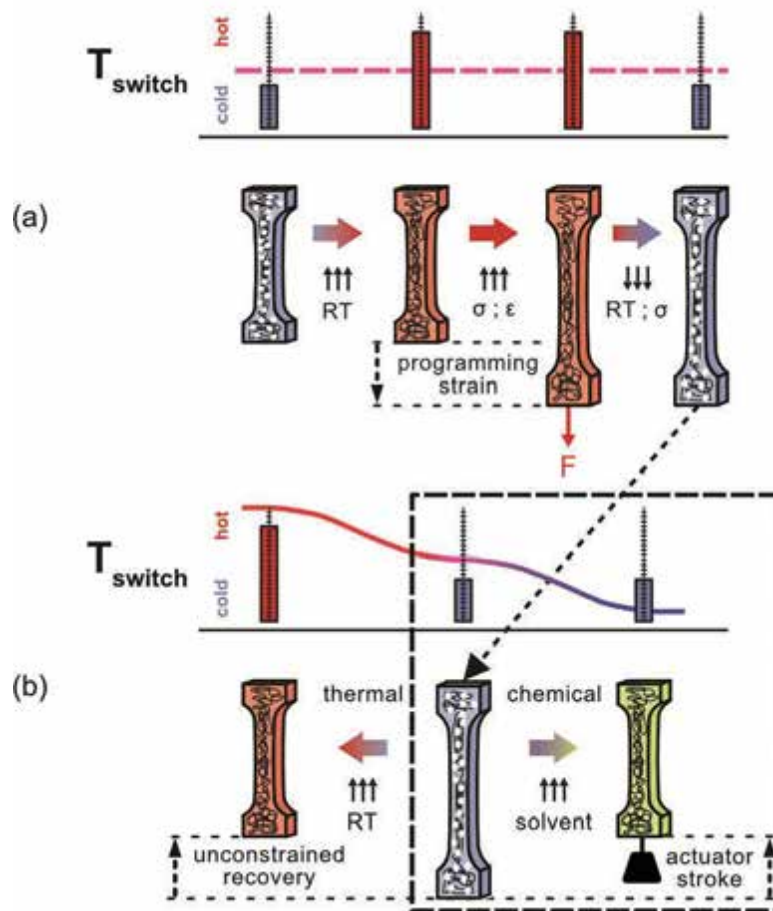
**Alex Asabre. Entwicklung von komplex zusammengesetzten Legierungen mit einer Eisen-Meteorit-ähnlichen Mikrostruktur.** Alex Asabre arbeitet im Rahmen eines europäischen Projektes mit Partnern aus Universitäten und aus der Industrie an der Entwicklung eines neuen Werkstoffes für Warmumformwerkzeuge. Als Ausgangsmaterial wird eine Legierung mit den Elementen Al Co Cr Fe und Ni verwendet, die zu den sogenannten Hochentropielegierungen oder Legierungen mit komplexer Zusammensetzung gehört. Durch gezieltes Legierungs-Screening und geeignete Wärmebehandlungen soll eine Legierung gefunden werden, die hohen Ansprüchen an Härte, Warmfestigkeit, Verschleißbeständigkeit und Werkstoffermüdung genügt. In einem ersten Schritt soll die Legierung durch laserbasierte additive Fertigung verarbeitet werden. Dann wird ihre Verschleiß- und Ermüdungsstabilität untersucht.

**Alex Asabre. Design of compositionally complex alloys with an iron-meteorite-like microstructure.** The work of Alex Asabre is embedded into a European research project. He works with partners from academia and industry on the development of a new material for hot-forming tools. An alloy, which contains the elements Al Co Cr Fe and Ni, serves as a reference system. Nearly equatomic compositions are considered. These types of materials are referred to as high-entropy alloys or compositionally complex alloys. Alloy screening is combined with a series of specific heat treatments to identify an alloy with a given set of target properties (hardness, thermal stability, wear resistance and mechanical/thermal fatigue resistance). Together with the project partners, the alloys are processed by laser-based additive manufacturing. Then the wear resistance and the fatigue behavior are investigated.



**Bild 12.1:** Alex Asabre und Norbert Lindner am Rasterelektronenmikroskop.

**Fig. 12.1:** Alex Asabre and Norbert Lindner working at the SEM.



**Bild 12.2:** Chemische Auslösung des Formgedächtniseffekts in Shape Memory Polymeren (Dr.-Ing.-Arbeiten von Hakan Dumlu (laufend) und Axel Marquardt (abgeschlossen)).  
**Fig. 12.2:** Chemical triggering of the one-way effect in a shape memory polymer (Dr.-Ing. theses of Hakan Dumlu (ongoing) and Axel Marquardt (completed)).

**Hakan Dumlu. Zur chemomechanischen Kopplung beim funktionelle Verhalten von Formgedächtnispolymere.** Hakan Dumlu führt die Arbeiten an Formgedächtnispolymere weiter, die Axel Marquardt begonnen hat. Diese sind Teil des DFG-Schwerpunktprogramms SPP 1713 zur Wechselwirkung zwischen mechanischen/ thermischen und chemischen Elementarmechanismen. Im Projekt von Hakan Dumlu werden Formgedächtnispolymere zunächst mit Hilfe einer Spritzgussmaschine hergestellt und anschließend mit Blick auf ihre funktionellen Eigenschaften (Einwegeffekt nach Programmierung) charakterisiert. Dann werden sie nach den am Lehrstuhl entwickelten Methoden Umgebungen ausge-

**Hakan Dumlu. On the strong coupling of thermo-chemical and thermo-mechanical states in shape memory polymers.** Hakan Dumlu continues the work on shape memory polymers initiated by Axel Marquardt. His research project is part of the DFG-funded Priority Program SPP 1713, which explores the interaction between mechanical, thermal and chemical elementary mechanisms. The shape memory polymers are made from granulate, produced with the aid of an injection molder. The polymer is characterized regarding its functional properties (one-way effect after programming). For this purpose, they are exposed to environments in which small molecules can diffuse into the polymer. In his doctoral thesis, Hakan



setzt, in denen kleine Moleküle eindiffundieren können. Dabei wird untersucht, wie sich unterschiedliche Lasten auf die Aktoreigenschaften eines Formgedächtnispolymers auswirken, und wie die Eindiffusion kleiner Moleküle diese verändern.

*Dumlu explores how different loads affect the actuator performance of a shape memory polymer actuator that has been exposed to chemical environments and explores the mechanisms of chemo-mechanical coupling.*



**Bild 12.3:** Florian Fox beim Durchführen mikromechanischer Experimente (In-situ REM).

*Fig. 12.3: Florian Fox working on micro-mechanical experiments (in-situ SEM).*

#### **Florian Fox. Mikromechanik von Hochentropielegierungen (HEL).**

Florian Fox untersucht die mikromechanischen Eigenschaften von HELs. Er stellt Legierungen unterschiedlicher Zusammensetzung her und verwendet fokussierte Ionenstrahlung (FIB), um zylindrische Säulen für mechanische Experimente herzustellen. Er untersucht das mechanische Verhalten in Abhängigkeit von der Zusammensetzung (chemische Einflüsse) und der Probenabmessungen (Größeneffekte). Seine Arbeit umfasst das Herstellen der Legierungen (Schmelzen, Gießen, thermomechanische Behandlung), die quantitative Beschreibung von Mikrostrukturen, die Durchführung mikromechanischer Experimente sowie die Interpretation der Ergebnisse auf mikrostruktureller Grundlage. Außerdem untersucht er die Phasenstabilität und die Kinetik der Einstellung neuer Gleichgewichte in der quinären HEL CrMnFeCoNi. Für diese erstellt er ein ZTU-Schaubild, indem er Wärmebehandlungen mit mikrostrukturellen Analysen von Ausscheidungen und deren Volumenanteilen kombiniert. Der

#### **Florian Fox. Experimental micromechanics of high-entropy alloys (HEAs).**

*Florian Fox explores the mechanical properties of HEAs. For this purpose, he produces alloys with different compositions and uses focused ion beam (FIB) micro-machining to prepare cylindrical pillars for micro-mechanical experiments. He investigates the dependence of the mechanical behaviour on alloy composition (chemical influences) and on the sample size (size effects). His work includes ingot metallurgy alloy processing (melting, casting, thermo mechanical treatments), the assessment of microstructures in the scanning electron microscope, the execution of micro-mechanical experiments as well as the interpretation of the results on a mechanistic basis. Moreover, he explores phase stabilities and the kinetics of how new phase equilibria are established for a quinary CrMnFeCoNi alloy. For this alloy, he establishes a time-temperature transformation diagram, combining a series of specific heat treatments with microstructural analysis of precipitates. The influence of microstruc-*

Einfluss der Mikrostruktur auf die mechanischen Eigenschaften im Zugversuch wird untersucht.

**Larissa Heep. Erforschung von elementaren Strukturbildungsprozessen in Ni-Basis Superlegierungen mit Hilfe von TEM.** Larissa Heep arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin an ein- und polykristallinen Ni-basis Superlegierungen. In Kooperation mit der Siemens AG Berlin untersucht Larissa Heep additiv gefertigtes polykristallines Material. Verschiedene Herstellungsparameter und Legierungszusammensetzungen werden anhand mikrostruktureller Aspekte verglichen. Dafür werden Poren, Risse, Korngröße und Phasenausbildung mit verschiedenen Methoden an Licht- und Rasterelektronenmikroskopen betrachtet. Außerdem werden die mechanischen Eigenschaften dieser Legierungen anhand von einachsigen Kriechversuchen evaluiert. Vor allem wirkt Larissa Heep im SFB/TR 103 (einkristalline Ni-basis Superlegierungen) in den Projekten A1 und A2 mit. Das Ziel ist die Erforschung von Elementarprozessen bei der Hochtemperaturplastizität einkristalliner Superlegierungen. Dafür werden Untersuchungen an definiert erstarrten, wärmebehandelten und vorverformten Proben mit Hilfe der Transmissionselektronenmikroskopie durchgeführt. Insbesondere geht es um das Einstellen von thermodynamischen Gleichgewichten bei der Wärmebehandlung und um die Anisotropie des Kriechens.

**Oliver Horst. Zum Einfluss der Konzentration einzelner Legierungselemente und mikrostruktureller Parameter auf das Kriechverhalten einkristalliner Ni-Basis Superlegierungen im Bereich hoher Temperaturen und niedriger Spannungen.** Oliver Horst ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter in die Projekte A1, A2 und B7 des SFB/TR 103 (einkristalline Ni-Basis Superlegierungen) eingebunden. Er untersucht den Einfluss von

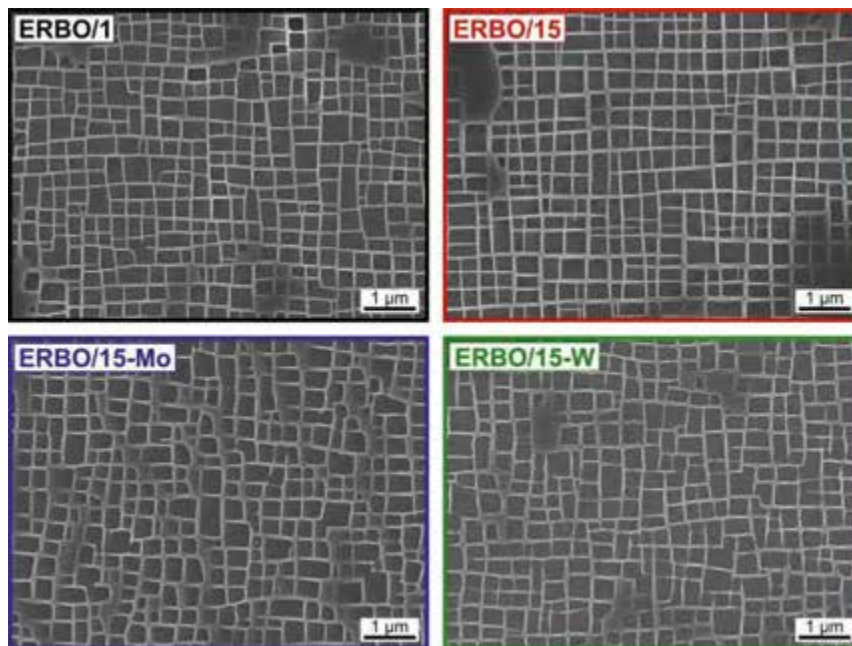
*ture on the mechanical properties in tensile tests is also considered.*

*Larissa Heep. TEM identification of elementary processes governing the evolution of microstructures in Ni-base superalloys. Larissa Heep started her work as a research assistant in charge of a research project in cooperation with Siemens AG Berlin. She investigated additively manufactured polycrystalline superalloys. She investigated pores, cracks, grain size and the physical and chemical nature of phases. In addition, the mechanical properties of these alloys are evaluated by means of uniaxial creep tests. She then joined our SFB/TR 103 team to work on creep and microstructural evolution in superalloy single crystals. Larissa Heep contributes to projects A1 (creep mechanisms) and A2 (transmission electron microscopy). The aim of her work is to investigate elementary processes governing high-temperature plasticity of single crystalline superalloys. For this purpose, she studies as-cast, heat-treated and pre-deformed samples using transmission electron microscopy. Within SFB/TR 103, Larissa Heep studies the microstructural origin of creep anisotropy focusing on small misorientations from selected target directions and on the kinetics of how new thermodynamic equilibria are established during heat treatments. For this purpose, she also performs long-term anneals.*

*Oliver Horst. On the influence of individual alloy elements and microstructure on the high-temperature low-stress creep behavior of single crystal Ni-base superalloys. Oliver Horst conducts his research in the framework of projects A1, A2 and B7 of the collaborative research center SFB/TR 103. He addresses open questions central to the understanding of the high-temperature strength of Ni-base superalloys. First, there is a need to document the*

Legierungselementen auf das Kriechverhalten. Dazu müssen einkristalline Legierungen mit unterschiedlicher Zusammensetzung hergestellt werden. Ihr Kriechverhalten muss dokumentiert und der Einfluss von Legierungselementen (z. B. von Re) auf die elementaren Verformungs- und Schädigungsprozesse untersucht werden. Diese Untersuchungen sollen an Legierungen durchgeführt werden, die bei unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung möglichst ähnliche  $\gamma/\gamma'$ -Mikrostrukturen aufweisen, damit man zwischen chemischen und mikrostrukturellen Einflüssen auf das Kriechverhalten unterscheiden kann. Dazu vergleicht Oliver Horst ERBO1 (die von CMSX 4 abgeleitete Referenz-Legierung des SFB/TR 103 mit Re) mit der neu entwickelten Legierung ERBO15 (kein Re, aber erhöhte Gehalte von W, Mo und Ti). Außerdem untersucht er zwei abgemagerte ERBO 15-Varianten, die weniger W und Mo aufweisen. Ziel der Arbeit von Oliver Horst ist, zu belastbaren Aussagen zum Einfluss von Mikrostruktur und Legierungschemie auf das Kriechverhalten einkristalliner Ni-Basis Superlegierungen zu kommen.

*influence of individual alloy elements on creep. This requires the processing of alloys with different compositions (e.g. increasing Re-concentrations) and similar microstructures to be able to single out the influence of alloy chemistry on the creep behavior in the high-temperature and low-stress creep regime. The work of Oliver Horst draws on expertise from different fields, including melting, solidification, heat treatment, high-resolution creep testing and scale bridging microstructural characterization. Oliver Horst compares ERBO 1, the reference alloy within SFB/TR 103 (with Re, CMSX 4 type) with the newly developed alloy ERBO 15 (no Re, increased levels of W, Mo and Ti). He also looks at two ERBO 15 variants, which contain less amounts of W and Mo. The objective of the work is to provide clear experimental evidence on how different alloy compositions affect the macroscopic creep behavior in the high-temperature and low-stress creep regime. Special emphasis is placed on how different alloy compositions affect microstructural stability and elementary deformation mechanisms.*



**Bild 12.4:** Ähnliche Mikrostrukturen der vier von Oliver Horst untersuchten einkristallinen Ni-Basis Superlegierungen. **Fig. 12.4:** Similar microstructures in the four Ni-base superalloy single crystalline alloys investigated by Oliver Horst.



**Julian Hunfeld. Werkstoffwissenschaftliche Untersuchungen zur Entwicklung polykristalliner Ni-Basis Superlegierungen.** Julian Hunfeld arbeitet in Kooperation mit dem Industriepartner VDM an der Entwicklung einer neuen polykristallinen Ni-Basis Superlegierung für Hochtemperaturanwendungen. Mit MatCalc berechnet er dazu die thermodynamische Stabilität der in Superlegierungen auftretenden Phasen in Abhängigkeit von ihrer chemischen Zusammensetzung. Auf der Grundlage dieser Berechnungen werden Versuchsschmelzen mit definierter Zusammensetzung abgegossen, welche anschließend charakterisiert werden. Im Rahmen dieser Charakterisierung werden das Auslagerungsverhalten, die Phasenstabilitäten sowie die mechanischen Eigenschaften untersucht (Härte und Zug- sowie Kriechfestigkeit bei Temperaturen zwischen 700 und 1000 °C). Außerdem werden Ergebnisse von externen Ermüdungsversuchen bei der Beurteilung der Legierungen mit in Betracht gezogen. Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Analyse von Mikrostrukturen und der Beurteilung lebensdauerbegrenzender Verformungs- und Schädigungsmechanismen. Die mikrostrukturellen Untersuchungen werden mithilfe der Lichtmikroskopie sowie der Elektronenmikroskopie (REM und TEM) durchgeführt. Ziel der Arbeit ist, zu einer systematischen Legierungsentwicklung beizutragen.

**Yordan Kalchev. Mikromechanische und mikrostrukturelle Untersuchungen von Elementarprozessen, die die Eigenschaften moderner Hochleistungswerkstoffe bestimmen.** Yordan Kalchev beschäftigt sich mit der mikromechanischen Charakterisierung verschiedener Materialsysteme. Er setzt dabei einen Schwerpunkt bei der Charakterisierung besonderer lokaler mechanischer Eigenschaften. Dabei betrachtet er sowohl technisch-relevante Ni-Basis Superlegierungen als auch Hoch-Entropie Legierungen (HEAs). In seinem Projekt setzt er die Nanoinden-

*Julian Hunfeld. Mechanical and microstructural investigations assisting the development of a new polycrystalline superalloy.* In his research, Julian Hunfeld collaborates with the industry partner VDM. The project aims at introducing a new polycrystalline Ni-base superalloy for high-temperature applications in the 900°C range. In a first step, Julian Hunfeld performs numerical thermodynamic calculations using MatCalc© in order to find out which phases are expected for a given alloy composition and to compare their stabilities as a function of alloy chemistry. Based on these calculations, the industry partner produces test alloys, which are subsequently characterized using quantitative metallographic methods and mechanical experiments. A special focus is placed on the microstructural evolution during heat treatments and the effects of microstructure on hardness and on high-temperature yield and creep. Julian Hunfeld performs hardness tests, tensile tests and creep tests and analyzes the deformed material states using scale bridging metallographic analysis (using optical microscopy and electron microscopy [SEM and TEM]). He also investigates specimens that were fatigue-tested in an external research laboratory. Julian Hunfeld's research aims at contributing to an optimized procedure for a systematic development of new polycrystalline Ni-base superalloys.

*Yordan Kalchev. Micromechanical and microstructural investigation of elementary processes governing the properties of advanced high-performance materials.* Yordan Kalchev investigates the local mechanical properties of Ni-base superalloys for applications as blade materials in gas turbines. Moreover, he investigates novel model materials such as compositionally complex alloys (CCAs), which are often referred to as high-entropy alloys (HEAs). Nanoindentation and micro-compression tests are performed, where possible, in-situ in a scanning electron

tation und Mikrodruckversuche ein, die teilweise in-situ im Rasterelektronenmikroskop durchgeführt werden. Experimente werden sowohl bei Raumtemperatur als auch bei Temperaturen zwischen 400 und 1000°C durchgeführt. Es geht um eine umfassende Untersuchung der Mikrostruktur und der chemischen Zusammensetzung bei der Verformung mittels Rasterelektronenmikroskopie einschließlich energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) und Elektronenrückstreuung (EBSD). Außerdem wird die Phasenstabilität bei der Wärmebehandlung einiger HEAs mit Hilfe der Transmissionselektronenmikroskopie untersucht.

*microscope. An effort is made to explore whether some of these tests can be performed at elevated temperatures, in the temperature range from 400 to 1000°C. Special emphasis is put on effects that can be attributed to changes in alloy composition and microstructure. Relating mechanical materials behavior on the microscale to elementary microstructural processes is in the center of Yordan Kalchev's work, who uses advanced analytical electron microscopy (SEM and TEM) in combination with X-ray spectroscopy for scale bridging microstructural characterization. Emphasis is also put on the phase stability of selected HEAs.*



**Bild 12.5:** Yordan Kalchev bei der Durchführung eines Verformungsexperiments im Rasterelektronenmikroskop.

*Fig. 12.5: Yordan Kalchev performing an in-situ deformation experiment in the scanning electron microscope.*

**Oluwaseyi Oluwabi. Mikrostrukturelle Untersuchungen an neuartigen Formgedächtnislegierungen: Einfluss komplexer Zusammensetzungen und funktionelle Eigenschaften.** Oluwaseyi Oluwabi greift Fragen auf, die für die

*Oluwaseyi Oluwabi. Microstructural investigation of novel shape memory alloys: On the effect of chemical complexity and functional properties.* Oluwaseyi Oluwabi addresses two questions that are important for progress in

Formgedächtnistechnik von Interesse sind. Zum einen geht es um den Einfluss von chemischer Komplexität auf die Strukturbildungsprozesse in Formgedächtnislegierungen, die vom binären NiTi abgeleitet wurden. Zum anderen sollen durch einen neuartigen Screening-Ansatz, welcher auf dem Einsatz von Diffusionspaaren und hochauflösenden In-situ-Experimenten im Rasterelektronenmikroskop basiert, neuartige Formgedächtnislegierungen mit komplexer Zusammensetzung identifiziert werden. Der Einsatz von Diffusionspaaren ermöglicht dabei eine Mitbetrachtung atomarer Mobilitäten. Ingots mit ausgewählten Zusammensetzungen werden durch Lichtbogenschmelzen hergestellt und durch thermomechanische Prozesse weiterverarbeitet, um anschließend die funktionellen Eigenschaften mit fortschrittlichen (thermo-) mechanischen Prüfverfahren zu charakterisieren.

*the shape memory field. The first is associated with chemical complexity, i.e. how, starting from a binary NiTi system, additional alloy elements affect the martensitic transformation and the functional properties. This part of the work builds on preliminary results established by David Piorek. The second part of the work aims at the identification of new shape memory alloys with superior functional properties. Oluwaseyi Oluwabi uses a new screening approach involving diffusion multiples and high-resolution in-situ scanning electron microscopy. This technique also allows the study of atomic mobilities in shape memory alloys with chemically complex compositions. Candidate alloys are prepared as bulk materials by arc melting and thermomechanical processing. Finally, the functional properties of these materials are studied using state-of-the-art (thermo-) mechanical characterization techniques.*



**Bild 12.6:** Oluwaseyi Oluwabi und Hannah Mittag beim Erschmelzen von Versuchslegierungen. **Fig. 12.6:** Oluwaseyi Oluwabi and Hannah Mittag melting alloys for testing.



**Catalina Pineda Heresi. Modellierung von Strukturbildungsprozessen in additiv gefertigten Hochtemperaturwerkstoffen.** Frau Pineda Heresi arbeitet auf dem Gebiet der thermodynamischen und kinetischen Simulation von Hochtemperaturwerkstoffen. Diese Legierungen sollen zukünftig verstärkt durch additive Fertigung hergestellt werden. Beim Verschweißen der Metallpulver treten jedoch bei einigen Legierungssystemen Heißrisse auf. Diese können ihre Ursache in Phasenumwandlungen mit einhergehenden Änderungen der Volumenanteile haben. Sie können auch mit der Ausbildung niedrig schmelzender Phasen auf Korngrenzen aufgrund von Segregation zusammenhängen. Mittels Simulation sollen im Vorfeld Legierungsmodifikationen untersucht werden, die versprechen, die Heißrisse neigung zu verringern. Hierbei müssen aber z. B. die Oxidationsbeständigkeit, die Bildung unerwünschter Phasen und die Kriechfestigkeit mitbetrachtet werden. Dabei müssen geeignete thermodynamische Daten wie z. B. die Wärmekapazitäten abgeschätzt werden, um den Fertigungsprozess zu optimieren. Die Vorhersagen aus den Simulationen werden schließlich experimentell validiert.

**David Piorunek. Zur chemischen Komplexität von Formgedächtnislegierungen.** David Piorunek beschäftigt sich mit dem Einfluss einer erhöhten chemischen Komplexität auf die Eigenschaften von Ni-Ti Hoch-Entropie (HE) Formgedächtnis-Legierungen (FGL). Im Fokus des aktuellen Projekts, welches Teil des DFG-Schwerpunktprogramms 2006 zu chemisch komplexen und Hoch-Entropie-Legierungen ist, steht das grundlegende Verständnis der Wechselbeziehungen zwischen Mikrostruktur und martensitischer Phasenumwandlung. Hierbei werden Ni-äquivalente Legierungselemente wie Cu, Co oder Pd sowie Ti-äquivalente wie Zr oder Hf zur Ni-Ti-Legierung zulegiert, um die Mischungsentropie zu erhöhen und um so die Phasenstabilität zu

*Catalina Pineda Heresi. Modeling of microstructural evolution of high-temperature materials during additive manufacturing.* C. Pineda Heresi works in the field of thermodynamic and kinetic simulation of high-temperature materials. In the future, these alloys will be processed using additive manufacturing. During additive manufacturing, powder layers melt and solidify in subsequent melting/remelting cycles. Under these conditions, micro-cracks can form during solidification. They may be associated with phase changes and with changes in phase volume fractions. They may also result from the formation of low melting eutectica on grain boundaries following segregation processes. Simulations are used to identify alloy compositions that are not prone to micro-crack formation. With this main target, other properties like oxidation resistance, the formation of undesirable phases and creep also need to be considered. Furthermore, thermodynamic data such as heat capacities at process temperatures have to be identified to optimize the manufacturing process. The predictions from thermodynamic/kinetic simulations are validated experimentally.

*David Piorunek. Chemical complexity and shape memory alloys.* David Piorunek works on the influence of increasing chemical complexity on the properties of Ni-Ti-derived high-entropy (HE) shape memory alloys (SMA). The focus of the project that is part of the DFG Priority Program 2006 on Chemically Complex and High-Entropy Alloys is on the fundamental understanding of the relations between microstructure and martensitic phase transformations in alloys with increased chemical complexity. Ni-equivalent alloying elements such as Cu, Co or Pd and Ti-equivalent elements such as Zr or Hf are added in order to increase the entropy of mixture and thus affect phase stability. Alloys are produced following ingot metallurgy processing

beeinflussen. Die Herstellung der Legierungen erfolgt mittels schmelzmetallurgischer und thermomechanischer Verfahren. Erhöhte Legierungskonzentrationen können zu komplexen Gussstrukturen führen und sind mit der Bildung von Defekten verbunden. Dies gilt es durch eine optimierte Prozessführung zu minimieren. Durch die Verbindung von Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie mit chemischen und thermischen Analysemethoden werden die Beziehungen zwischen Zusammensetzung, Mikrostruktur und funktionellen Eigenschaften erforscht.

*routes derived from processes that have been previously established for Ni-Ti shape memory alloys. Chemical complexity leads to complex cast microstructures and undesirable casting defects. The project aims at suppressing these microstructural defects by exploring appropriate processing strategies. Scanning and transmission electron microscopy are combined with chemical and thermal analysis to identify the relations between microstructure, alloy composition and functional properties.*



**Bild 12.7:** David Piorunek und Pascal Thome bei der Feier 50 Jahre Institut für Werkstoffe 2018. **Fig. 12.7:** David Piorunek and Pascal Thome during the party 50 Jahre Institut für Werkstoffe in 2018.

**Christian Reinhart. Einfluss der Cr und Ni-Konzentration auf die Mischkristallverfestigung in Hoch-Entropie-Legierungen.** Christian Reinhart untersucht die mechanischen Eigenschaften von Hoch-Entropie-Legierungen (HEL) bei verschiedenen Temperaturen. HEL bestehen in der Regel aus fünf Elementen, welche in ähnlicher Konzentration vorhanden sind. Bekanntestes Beispiel ist hier die Legierung CrMnFeCoNi. Diese

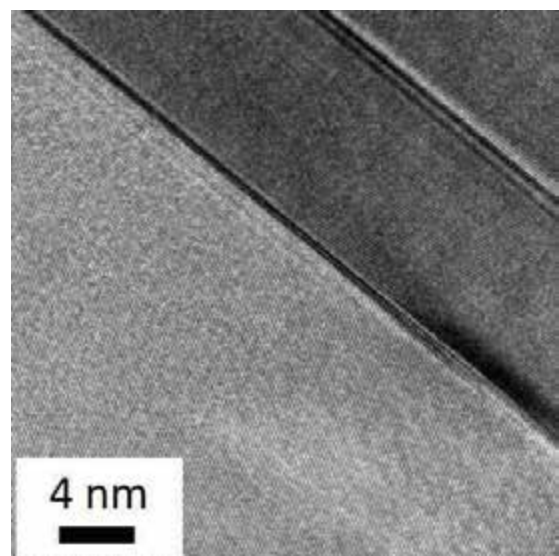
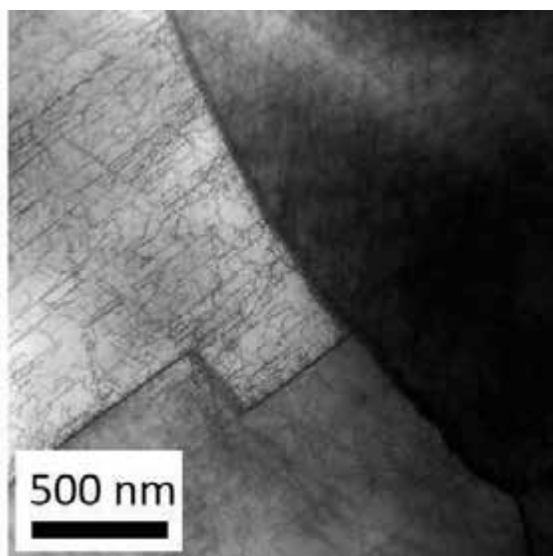
*Christian Reinhart. Investigation of the effect of Cr to Ni ratio on solid solution strengthening in high-entropy alloys. Christian Reinhart investigates the mechanical properties of high-entropy alloys at different temperatures. High-entropy alloys (HEAs) usually consist of five elements, which are present in similar concentrations. The best-known example of an HEA is the alloy CrMnFeCoNi, where all five elements are present in the*

Legierung bildet einen einphasigen kubisch flächenzentrierten Mischkristall. Die Legierungen werden gegossen, geschmiedet und wärmebehandelt. Da es sich bei HEL um eine noch relativ neue Legierungsklasse handelt, sind zuerst mechanische Grundeigenschaften durch Zug- und Druckversuche zu klären. In einem zweiten Schritt wird der Fokus auf die Mikrostruktur gesetzt. Hierbei wird mittels Licht-, Raster- und Transmissions-elektronenmikroskopie die Mikrostruktur nach verschiedenen thermomechanischen Behandlungen untersucht und mit Hilfe der quantitativen Metallographie beschrieben.

Ziel des Projekts von Christian Reinhart ist, die mikrostrukturellen Eigenschaften in Verbindung mit den mechanischen Eigenschaften in komplexen Mischkristallen zu setzen und ein grundlegendes Verständnis für diese neue Art von Legierungen zu schaffen. Hierfür wird mittels TEM die Stapelfehlerenergie untersucht, da vermutet wird, dass sie in Zusammenhang mit der Zwillingsbildung steht, welche wiederum einen entscheidenden Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften hat.

*same concentrations. This alloy forms a single-phase face-centered cubic solid solution, similar to austenitic steels. The HEA are cast, forged and heat treated. Since high-entropy alloys are still a relatively new class of materials, it is first necessary to clarify basic mechanical properties by tensile and compression testing. In a second step, their microstructure is analyzed. The microstructure is analyzed after different thermomechanical treatments combining optical, scanning electron and transmission electron microscopy with quantitative image analysis.*

*The aim of the project is to correlate the microstructural properties with the mechanical properties of complex solid solution crystals and to contribute to a better basic understanding of this new type of alloys. For this purpose, transmission electron microscopy is used to investigate the stacking fault energy for various high-entropy alloys. It is believed that the stacking fault energy is related to deformation twinning, which in turn has a decisive influence on the mechanical properties.*



**Bild 12.8:** TEM-Aufnahmen von Christian Reinhart zur plastischen Verformung von Hochentropie-Legierungen. Versetzungen und Zwillingsbildung. **Fig. 12.8:** TEM micrographs of deformed high-entropy alloys. Dislocations and deformation twins.



**Alexander Richter. Weiterentwicklung der quantitativen Metallographie - Einsatz von maschinellem Lernen bei der Erkennung von Dendriten und 3D-Erweiterung des hochauflösenden RVB-EBSD-Verfahrens.** In der Arbeit von Alexander Richter geht es um eine Erweiterung der konventionellen quantitativen Metallographie in zwei Richtungen. Einmal sollen automatisch erstellte Montagen lichtmikroskopischer Bilder mit Hilfe des maschinellen Lernens ausgewertet werden. Ziel ist, das System so zu trainieren, dass die Positionen von Dendriten in gegossenen einkristallinen Superlegierungen automatisch erkannt werden. In einem zweiten Teil der Arbeit geht es darum, das RVB-EBSD-Verfahren von Pascal Thome auf drei Dimensionen zu erweitern. Dazu werden im experimentellen Teil parallele Querschliffe in kleinen Abständen hergestellt. Jeder Querschliff wird mit dem hochauflösenden RVB-EBSD-Verfahren (Orientierungsauflösung  $> 0.1^\circ$ ) analysiert. Die Informationen aus allen Schliffen werden dann zusammengeführt, um die Orientierung aller Dendriten im Raum zu erfassen.

**Mike Schneider. Zur Herstellung und den Eigenschaften von Hoch-Entropie-Legierungen.** Mike Schneider bearbeitet ein Thema aus dem Projekt B8 des SFB/TR 103 (Einkristalline Ni- und Co-Basis Superlegierungen). Einkristalline Ni-Basis Superlegierungen weisen komplexe Zusammensetzungen auf und können bis zu 10 Hauptlegierungselemente enthalten. Diese Legierungen weisen Mikrostrukturen auf, die aus zwei Phasen bestehen. Etwa 75 Volumenprozent der Legierungen bestehen aus der geordneten  $\gamma'$ -Phase, die in Form kleiner Würfel vorliegt. Die Würfel werden durch dünne  $\gamma$ -Kanäle voneinander getrennt (kubisch flächenzentrierte Kristallstruktur). Bei den  $\gamma$ -Kanälen handelt es sich um komplexe Mischkristalle, die in den letzten Jahren auch als High Entropy Alloys bekannt geworden sind. Das Projekt von Mike

*Alexander Richter. Advanced quantitative metallography – machine learning-assisted detection of dendrites and 3D extension of the high resolution RB-EBSD method. The research of Alexander Richter aims at improving the quantitative metallographic characterization of dendrites in cast Ni-base superalloys. The work has two parts. In the first part, machine learning algorithms are applied to identify dendrites in large montages. In the second part, Pascal Thome's high-resolution RVB EBSD method (angular resolution  $> 0.1^\circ$ ) is extended to provide 3D information. In the experimental part of this work, closely spaced (e.g. 0.2 mm) parallel cross-sections are produced that are perpendicular to the growth direction of dendrites. They are being analyzed using our RVB-EBSD method. The crystallographic information retrieved from all cross-sections is then consolidated to obtain a spatial distribution of crystallographic orientations in the cast microstructure. In combination with solidification experiments, this will provide a deeper insight into the growth mechanisms of dendrites.*

*Mike Schneider. On the processing and properties of high-entropy alloys. Mike Schneider works within project B8 of the collaborative research center SFB/TR 103 (Single Crystal Superalloys). Single crystal Ni-base superalloys have microstructures consisting of two phases, an ordered  $L1_2$ -phase and a face-centered cubic solid solution. The ordered phase forms small cuboidal particles, which occupy about 75% of the volume of the material. These small  $\gamma'$ -cubes are separated by thin  $\gamma$ -channels. The  $\gamma$ -channels represent complex solid solutions containing up to 10 alloy elements. One objective of his research is to find out how increasing alloy complexity affects high-temperature plasticity. To tackle this question systematically, first the ternary system Co-Cr-Ni is considered. In a next step, quaternary systems of type Co-Cr-*

Schneider geht der Frage nach, wie sich die Hochtemperaturplastizität mit steigender Legierungskomplexität in kubisch flächenzentrierten Systemen ändert. Er stellt ternäre Systeme, beginnend mit Co-Cr-Ni mit Blick auf relevante quaternäre Systeme wie Co-Cr-Ni-Al her. Um die Phasenstabilität bei Langzeitglühung zu untersuchen, werden Licht-, Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie eingesetzt. Außerdem werden die mechanischen Eigenschaften der Legierungen erfasst, um zu einem besseren Verständnis elementarer Strukturbildungs- und Verformungsprozessen bei der Hochtemperaturverformung von komplexen Mischkristallen beizutragen.

*Ni-Al are considered. The alloys are characterized with respect to phase stability during long-term thermal exposure. For this purpose, their microstructures are investigated using optical microscopy, scanning electron microscopy and transmission electron microscopy in combination with quantitative metallography. Most importantly, the mechanical properties (elastic stiffnesses, high-temperature strength and creep performance) are characterized. The objective of the project is to contribute to a better understanding of elementary processes governing the evolution of microstructure during processing and high-temperature plasticity.*



**Bild 12.9:** Mike Schneider mit Hongcai Wang am Rasterelektronenmikroskop.  
*Fig. 12.9:* Mike Schneider with Hongcai Wang working at the SEM.

**Felicitas Scholz. Elementarprozesse bei der Erstarrung einkristalliner Ni-Basis Superlegierungen.** Felicitas Scholz stellt im Projekt B7 des SFB/TR 103 mit einer modifizierten Bridgman-Methode einkristalline Ni-basis Superlegierungen her. Im Rahmen ihrer Doktorarbeit erforscht sie Kristalldefekte, die beim Erstarren entstehen. Dabei analysiert sie das Wachs-

*Felicitas Scholz. Elementary processes governing the evolution of microstructures during solidification of single crystal Ni-base superalloys.* Felicitas Scholz works in project B7 of SFB/TR 103, where she produces single crystalline Ni-base superalloys using a modified Bridgman method. As part of her doctoral thesis, she investigates the formation of crystal de-

tum von Dendriten. Im Fokus steht hier die Kristallmosaizität, die ein bislang wenig beachtetes Gefügemerkmal von Ni-basis Superlegierungen darstellt. Hierbei handelt es sich um subkornartige, gegeneinander leicht verkippte Bereiche. Die Mikrostruktur wird dabei mit unterschiedlichen Methoden charakterisiert. Hierzu zählen eine neue entwickelte tomographische orientierungsabbildende Analyse, aber auch elektronenmikroskopische Untersuchungen wie z. B. Elektronenrückstreu-Diffraktometrie (EBSD). Ergänzend wird mit Hilfe von Elektronenstrahlmikroanalyse (EPMA) und Atomsondentomographie (ATP) die chemische Zusammensetzung im Bereich der beim Erstarren entstehenden Kleinwinkelkorn-grenzen analysiert.

*fects during solidification. Special emphasis is placed on the growth of dendrites that are slightly misoriented with respect to each other. This is associated with crystal mosaicity, a microstructural feature that has so far not received sufficient attention. Subgrain boundaries separate individual dendrites. The microstructure in the environment of such subgrain boundaries is characterized by different methods. These include a newly developed tomographic orientation-imaging technique as well as orientation imaging SEM analysis and local characterization by means of transmission electron microscopy and atom probe tomography. The work contributes to a better appreciation of crystal mosaicity in single crystal Ni-based superalloys.*



**Bild 12.10:** Felicitas Scholz stellt am Bridgman-Ofen einkristalline Superlegierungen her.

*Fig. 12.10:* Felicitas Scholz working with a Bridgman furnace to produce single crystal superalloys.

**Yucen Shen. Zum Temperatureinfluss beim chemischen Triggern des Einwegeffekts von Formgedächtnispolymeren.** Yucen Shen führt die Arbeiten an Formgedächtnislegierungen weiter, die von Hakan Dumlu und Axel Marquardt begonnen wurden. Sie untersucht offene

*Yucen Shen. On the influence of temperature on the chemical triggering of the one way effect in shape memory polymers.* Yucen Shen's work builds on the results obtained by Hakan Dumlu and Axel Marquardt in their studies. She works on open questions regarding a pe-

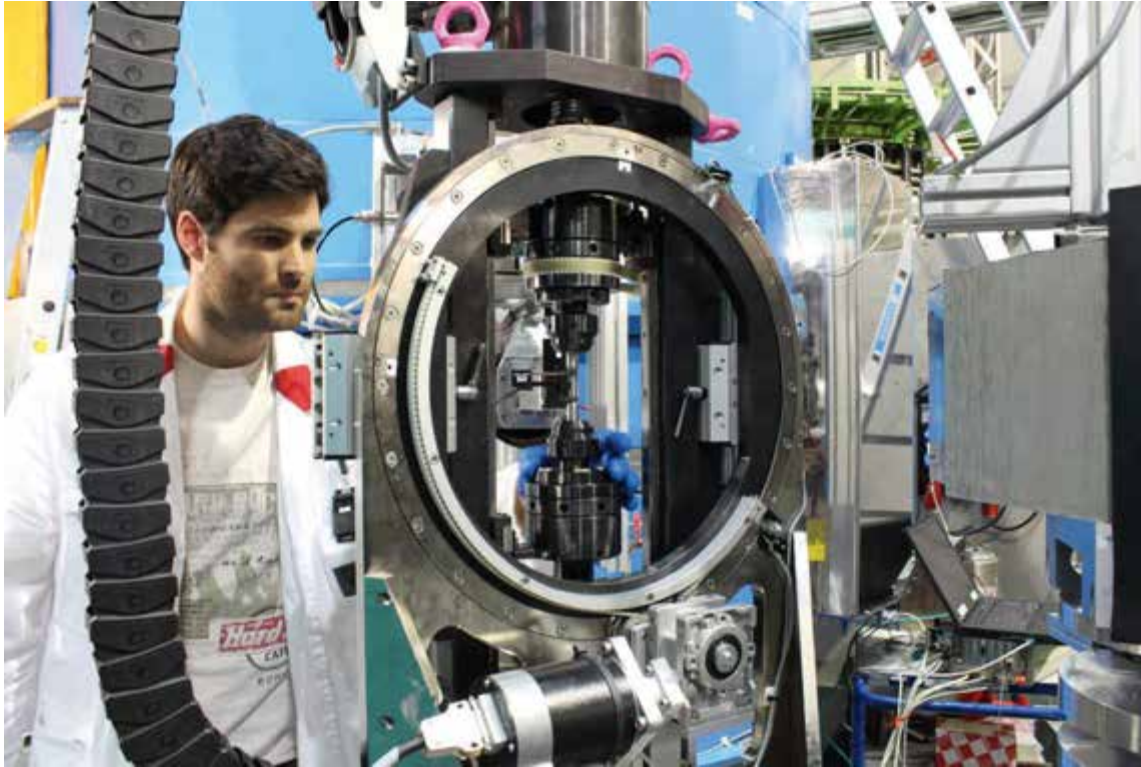


Fragen im Bereich kleiner Akzorlasten. Für die Eindiffusion betrachtet sie die Moleküle Methanol, Ethanol und Propenol und untersucht, wie stark die Effekte von der Temperatur abhängen. Sie hat ihre Arbeit im Sommer 2020 begonnen und ist Doktorandin der IMPRS SurMat. Im ihrem Projekt arbeiten wir eng mit Fatollah Varnik vom ICAMS zusammen, der das Verhalten des Materials auf molekularer Grundlage modelliert.

**Marc Sirrenberg. Hochtemperaturplastizität einkristalliner Superlegierungen unter besonderer Berücksichtigung von Warmzugversuchen und zyklischen Belastungen.** In den ersten beiden Förderphasen des SFB/TR 103 galt dem einachsigen Kriechen besondere Aufmerksamkeit. Es ist bekannt, dass bei schnelleren Verformungen, wie sie für Warmzugversuche typisch sind, andere Verformungsmechanismen ablaufen. Dabei wird auch die sogenannte Fließspannungsanomalie beobachtet, wo mit steigender Temperatur die Fließspannung ansteigt. Hier untersucht Marc Sirrenberg, ob dieser Effekt von der Größe der  $\gamma'$ -Teilchen abhängt. Außerdem geht es in der Arbeit um die mikrostrukturelle Interpretation von Elementarprozessen, die das Werkstoffverhalten bei zyklischer Beanspruchung bestimmen. Dieses wird in externen thermomechanischen Ermüdungsversuchen (out-of-phase LCF-Versuche, Zusammenarbeit mit dem KIT) untersucht. Die thermomechanisch ermüdeten Proben werden von Marc Sirrenberg untersucht. Für die mikrostrukturelle Interpretation der Ergebnisse führt Marc Sirrenberg Zugversuche und zyklische Kriechversuche durch, wobei er die Entwicklung der Mikrostruktur und die Verformungsmechanismen mit denen der thermischen Ermüdung vergleicht. Ziel ist, zu einem besseren Verständnis der für die Lebensdauer bei zyklischer Beanspruchung kritischen Elementarprozesse beizutragen.

*cular behavior observed for small end loads. With respect to the diffusion of small molecules into the polymer, she considers methanol, ethanol and propanol with emphasis placed on how strongly the temperature affects diffusion and actuation. She started her work in the summer of 2020 as a doctoral student of the IMPRS SurMat. She collaborates with Fatollah Varnik from ICAMS, who models the material behavior.*

*Marc Sirrenberg. High-temperature plasticity of single crystal Ni-base superalloys with a special focus on cyclic loading conditions. In the first two funding periods of SFB/TR 103, the uniaxial creep behavior of single crystal Ni-based superalloys was studied extensively; other types of mechanical loading received less attention. In Marc Sirrenberg's work, emphasis is placed on high-temperature constant strain rate testing and on phenomena associated with cyclic loading. It is well known that dislocation mechanisms that govern creep differ from those occurring under constant strain rate conditions. It can give rise to a yield stress anomaly, where apparent yield stresses increase with increasing temperature. One objective is to find out how this yield stress anomaly depends on the microstructural parameters characterizing the  $\gamma/\gamma'$ -microstructure. In addition, the microstructural aspects related to cyclic loading conditions receive special attention. Specimens subjected to thermomechanical fatigue tests (performed at KIT) are microstructurally analyzed and compared with specimens that were subjected to constant strain rate testing and cyclic creep loading. The microstructural evolution in the different types of high-temperature tests is analyzed and compared. The objective is to contribute to a better understanding of elementary processes governing high-temperature strength under cyclic loading conditions.*



**Bild 12.11:** Thorsten Birk am Münchner Reaktor.

*Fig. 12.11: Thorsten Birk working at the reactor of the TU Munich.*

## 12.2 Abgeschlossene Arbeiten

**Thorsten Birk. Zwillingselastizität in pseudoelastischen NiTi Formgedächtnislegierungen.** Thorsten Birk untersuchte in seiner Doktorarbeit den Effekt der Zwillingselastizität von NiTi(Cu)-Formgedächtnislegierungen, mit welchem hohe reversible Verformbarkeiten bis etwa 3% erreicht werden können. Die elastische Verformbarkeit liegt hier zwar unter der des häufig in der Technik eingesetzten pseudoelastischen Formgedächtniseffekts (5-7%); sie liegt aber auch deutlich über der Dehngrenze herkömmlicher metallischer Werkstoffe. Darüber hinaus zeigt die Zwillingselastizität im Gegensatz zur Pseudoelastizität eine Unabhängigkeit von der Umgebungstemperatur. Gerade in Bereichen der Antriebs-, Fahrzeug- und Luftfahrttechnik können starke Tempera-

## 12.2 Completed Projects

*Thorsten Birk. On superelasticity in pseudo-elastic NiTi shape memory alloys.* Thorsten Birk studied a phenomenon known as superelasticity or twin pseudoelasticity. Superelastic NiTi is obtained by the cold working of pseudoelastic NiTi (e.g. 40% deformation at room temperature). Superelasticity makes it possible to deform NiTi reversibly to strains of the order of 3%. This is less than the 7%, which can be reached when exploiting customary pseudoelasticity. The advantage of superelasticity is that the strong temperature dependence affecting the performance of applications, which need to provide flexibility under conditions where strong variations of temperature occur. The physical nature of twin pseudoelasticity is not well understood.

turschwankungen auftreten, wodurch die Zwillingselastizität in den Fokus dieses von der DFG geförderten Forschungsvorhabens rückte. Um die speziellen Eigenschaften charakterisieren zu können, wurden alle Probenmaterialien selbst erschmolzen und thermomechanisch nachbehandelt, um anschließend mechanische (u. a. DMA-Analyse, Zugversuche), thermische (u. a. DSC-Analyse), röntgenographische (Röntgenanalyse) sowie mikroskopische (u. a. REM-, TEM-Aufnahmen) Untersuchungen durchzuführen.

**Hinrich Jörgen Buck. Untersuchung der Porenbildung bei der Herstellung und beim Kriechen einkristalliner Ni-Basis Superlegierungen.** Hinrich Buck setzte die quantitative Licht- und Rasterelektronenmikroskopie ein, um zu untersuchen, wie die Verteilung von Gussmikroporen aussieht. Dann untersuchte er, wie sich die Porenpopulation beim Kriechen entwickelt. Zu den Gussporen kommen neue kleine Kriechporen hinzu. Alle Poren wachsen. In späteren Kriechstadien kommt es zum Zusammenwachsen von Poren, es entstehen Mikrorisse. Diese leiten dann letztlich den finalen Kriechbruch ein. Einzelne Gussporen können im Hochtemperatureinsatz ihre Form ändern, indem sie Facetten bilden, die niedrig indizierten kristallographischen Flächen entsprechen.

**David Bürger. Untersuchung elementarer Verformungsmechanismen beim Kriechen einkristalliner Superlegierungen bei Temperaturen um 800°C.** David Bürger untersuchte Kriechmechanismen in einkristallinen Superlegierungen. Es ging dabei um die elementaren Versetzungsmechanismen, die die frühen Kriechstadien prägen. Er setzte Doppelscher-Kriechversuche ein, die erlaubten, bestimmte kristallographische Gleitsysteme direkt (Schmid Faktor: 1) zu belasten. Man kann z. B. {111} Ebene direkt in  $\langle 110 \rangle$  Richtung scheren. Aus den Scher-

*The objective of this DFG-funded research project was to contribute to a better microstructural understanding of superelasticity. Ingot metallurgy and thermomechanical treatments were used to produce well-defined alloys. Functional and structural properties were investigated using thermal and mechanical analysis techniques. And, most importantly, careful SEM and TEM investigations were performed to identify elementary transformation and deformation processes governing superelasticity.*

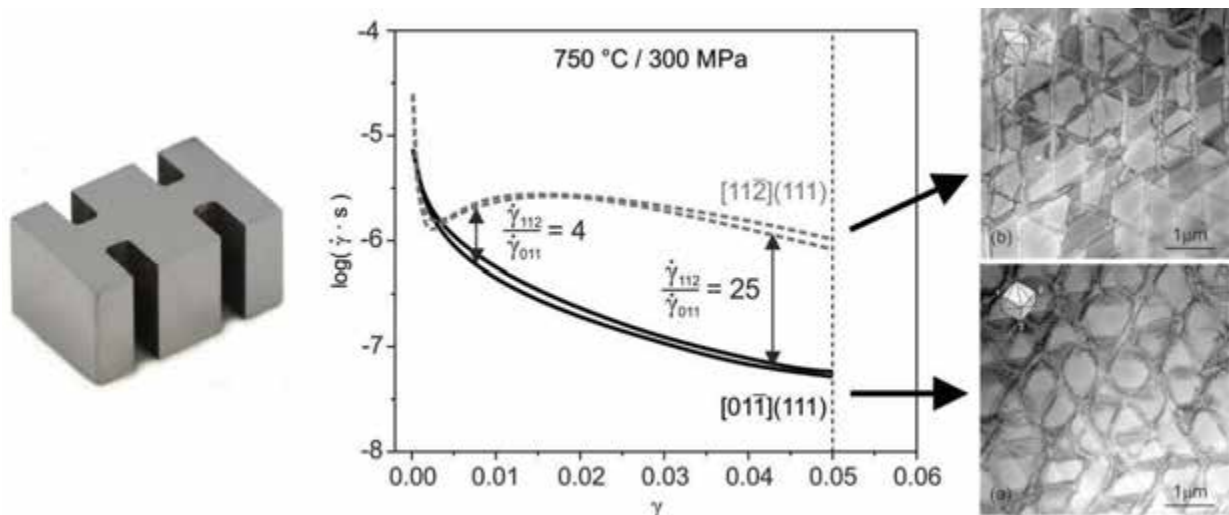
*Hinrich Jörgen Buck. On the evolution of cast and creep porosity in single crystal Ni-base superalloys.* Hinrich Buck combined optical and scanning electron microscopy with quantitative image analysis to study the distribution of cast micropores in superalloy single crystals. He then investigated how the pore population evolved during creep. During creep, new small creep pores nucleate and grow. Pre-existing cast pores and newly formed creep pores grow during creep. In the later stages of creep, pores coalesce and form micro-cracks, which eventually act as crack initiation sites. Individual pores can change their morphology during high-temperature exposure. They form facets, which correspond to low-index crystallographic planes. This process minimizes surface energy.

*David Bürger. Investigation of elementary deformation processes governing creep of single crystal Ni-base superalloys at temperatures around 800°C.* David Bürger investigated the mechanical properties of single crystal Ni-base superalloys, especially the creep properties. He focused on elementary deformation mechanisms that govern the early stages of creep. He used double shear creep tests, which made it possible to load directly specific microscopic crystallographic shear systems (with a Schmid factor of 1). It is possible, for example, to



proben kann man dann parallel zur Gleit-ebene TEM-Proben entnehmen, die große Bereiche der Hauptgleitenebene enthalten und die deshalb lange Versetzungs-segmente enthalten. David Bürger untersuchte die Form der Scherkriechkurven sowie die Spannungs- und Temperatur-abhängigkeit der Kriechgeschwindigkeit. Diese mechanischen Kenngrößen des Kriechens korrelierte er mit Unter-suchungen am Durchstrahlungselektronenmikroskop, wo er Kippexperimente mit definierten Zweistrahlbedingungen durchführte, um die Burgersvektoren von Versetzungen und um die Verschiebungs-vektoren planarer Fehler zu bestimmen. Die wissenschaftliche Aufgabe bestand darin, den Wu-Mechanismus experimen-tell zu untermauern, der das Doppel-minimum-Kriechen einkristalliner Super-legierungen bei mittleren Temperaturen erklärt. Außerdem befasste sich David Bürger auch mit dem Kriechen und mit der Mikrostruktur additiv gefertigter Ni-Basis Superlegierungen, die aus dem Projekt B2 (C. Körner, M. Markl) des SFB/TR 103 stammten und die mit Hilfe des selektiven Elektronenstrahlschmelzens Superlegierungseinkristalle herge-stellt wurden.

shear a  $\{111\}$  plane in a  $\langle 110 \rangle$  direction. From the shear zones, one can take out TEM foils, which contain the glide plane and thus enable the study of long dislocation segments in large areas. David Bürger analyzed the shape of individual creep curves as well as the stress and temperature dependence of the minimum creep rate. He then correlated this mechanical data with microstructural TEM observations. In his TEM work, he used tilt experiments to establish specific two-beam contrasts. Using effective invisibility criteria, he determined the Burgers vectors of dislocations and the translation vector of planar faults. A key objective of his work was to provide experimental proof for the Wu-mechanism, a scenario proposed to rationalize double minimum creep, which is observed during creep at low temperatures and high stresses. Moreover, David Bürger investigated creep and microstructures of single crystal Ni-base superalloys produced using selective electron re-melting, an additive manufacturing technique. This part of his work was performed in collaboration with project B2 (C. Körner, M. Markl) from SFB/TR 103.



**Bild 12.12:** Einfluss der Scherkristallographie auf die Scherkriechrate beim Kriechen (Dr.-Ing.-Arbeit David Bürger). **Fig. 12.12:** On the effect of shear geometry on shear creep rate (Dr.-Ing. thesis of David Bürger).

**Miguel Callejas. Nutzung von Formgedächtnislegierungen in der Architektur.** Miguel Callejas kam als Postdoc, der seine Doktorarbeit im Bereich der Architektur durchgeführt hatte und bereits auf 15 Jahre Berufserfahrung in Sevilla zurückblicken konnte. Er war im Rahmen eines Forschungsprojekts bei uns, das wir in Zusammenarbeit mit der Firma Ingpuls durchführten. Dabei ging es um die Nutzung der Formgedächtnistechnik in Fällen, wo zum Beispiel Straßenzüge bei starker Sonneneinstrahlung automatisch abgedunkelt werden müssen. Das Hauptziel von Miguel Callejas war, traditionelle statische Architektur mit intelligenten und dynamischen Elementen aus der Formgedächtnistechnik zu kombinieren und hier neue Ansätze zu erproben.

**Miguel Callejas. Shape memory technology and architecture.** Miguel Callejas came as a postdoctoral student, who had graduated as an architect and already had 15 years of experience working in Sevilla. He came to Bochum in the framework of a European research project, which was initiated by the company Ingpuls in collaboration with our Chair. The objective was to use shape memory technology in cases in which, for example, a pedestrian zone between buildings needs to be shaded from extensive sun impact (hot summers in southern Europe). The research objective of Miguel Callejas was more general. He explored possibilities to enrich traditional architectural concepts with new dynamic elements from the field of shape memory technology.



**Bild 12.13:** Lijie Cao erklärt ABAQUS Ergebnisse.  
**Fig. 12.13:** Lijie Cao explaining ABAQUS results.

**Lijie Cao. Zum Einfluss milder Rundkerben auf das Kriechverhalten einkristalliner Ni-Basis Superlegierungen.** Lijie Cao führte ihre Doktorarbeit mit einem Stipendium der Volksrepublik China durch. Sie arbeitete an einkristallinen Ni-Basis-Superlegierungen, die zur Herstellung von Turbinenschaufeln in Gasturbinen verwendet werden. Diese

**Lijie Cao. On the effect of mild notches on creep of Ni-base single crystal superalloys.** Lijie Cao worked on her thesis, supported by a research grant provided by the People's Republic of China. She worked on Ni-base single crystal superalloys that are used for turbine blades, which operate in the 1000°C temperature regime. In this temperature regime, creep

müssen bei Temperaturen um 1000°C mechanischen Belastungen standhalten. Unter diesen Bedingungen wird die Lebensdauer durch Kriechen begrenzt. Das Kriechverhalten wird in der Regel durch einachsige Zugkriechversuche untersucht. Es muss aber auch das mechanische Verhalten unter mehrachsigen Spannungszustand bekannt sein. Ein Schwerpunkt von Lijie Cao's Untersuchungen lag deshalb bei der Charakterisierung des Kriechens von Proben mit Rundkerben, die einen mehrachsigen Spannungszustand bewirken. Es wurden mechanische Untersuchungen durchgeführt, in denen die Vorhersagen von Finite Element-Rechnungen mit dem experimentellen Verhalten der Proben verglichen wurden. Außerdem wurde untersucht, wie der mehrachsige Spannungszustand mikrostrukturelle Elementarprozesse (Versetzungsplastizität, Teilchenvergrößerung/ Rafting und Schädigungsentwicklung) beeinflusst.

**Timo Depka. Beyond Ni-base Superalloys.** Die Arbeit von Timo Depka war in einer DFG Forschergruppe eingebunden, die von Martin Heilmaier (KIT) koordiniert wurde. Außerdem nahmen Forscher der Unis Bayreuth, Braunschweig und Siegen an dem Verbundprojekt teil. Es ging um das Verhalten von Legierungen auf Co-Re und Mo-Si Basis. Erforscht wurde deren Mikrostruktur und deren Kriechverhalten. Timo Depka kombinierte hochpräzise Kriechversuche mit analytischer Durchstrahlungselektronenmikroskopie. Insbesondere erforschte er die Evolution der Mikrostruktur im Hochtemperatureinsatz, wo man die Bildung kleiner und kleinster Ausscheidungen beobachtet. Dabei untersuchte er die Bildung der Sigma-Phase ( $\text{Cr}_2\text{Re}_3$ ) in Co-Re Legierungen. In seiner Zeit am Lehrstuhl war Timo Depka auch für eine Schutzgas-Kriechapparatur zuständig, in der Kriechversuche bis 1100°C durchgeführt werden konnten.

*is one of the factors limiting the exploitable service life. Creep is normally studied using uniaxial tensile creep testing. However, high-temperature components are also exposed to multiaxial stress states. One objective of Lijie Cao's work was to investigate the effect of circular notches on creep. For this purpose, she designed a novel circular notched miniature tensile creep specimen. In her research, she used finite element stress and strain analysis to study the evolution of stresses and strains during creep, using a crystal plasticity-based creep model. She compared FEM predictions with experimental creep data, also considering shape changes associated with creep anisotropy. Most importantly, she studied the effect of multiaxial stress states on the micro-structural evolution during creep, focusing on dislocation processes, coarsening of particles (rafting) and the nucleation and growth of creep pores and micro-cracks.*

**Timo Depka. Co-Re. Beyond Ni-base superalloys.** Timo Depka's work was embedded into a collaborative research group funded by the German Research Association and co-ordinated by Martin Heilmaier (KIT). Researchers from the Universities of Bayreuth, Braunschweig and Siegen participated in the project. Alloys with the high-melting base metals Co, Re and Mo were the focus of interest (Co-Re and Mo-Si based alloys). Timo Depka investigated the microstructure and the creep properties of these materials. He combined high-precision miniature specimen creep testing with analytical transmission electron microscopy, focusing on microstructural evolution in the temperature range above 1000°C. Special emphasis was put on the nucleation and growth of precipitates. The sigma phase ( $\text{Cr}_2\text{Re}_3$ ) in Co-Re alloys received special attention. Timo Depka was responsible for a 1100°C inert atmosphere creep rig.



**Adeline Durand. Zur Messung atomarer Beweglichkeiten in Diffusions-Multiples von Hochentropielegierungen.** Adeline Durand arbeitete an einer Doktorarbeit zur Interdiffusion in komplexen Mischkristallen. Dabei ging es sowohl um atomare Beweglichkeiten in sogenannten Hochentropielegierungen (high entropy alloys) mit Blick auf Interdiffusion in Mischkristallen, deren Zusammensetzung an die  $\gamma$ -Kanäle in  $\gamma/\gamma'$ -Mikrostrukturen von einkristallinen Superlegierungen angelehnt ist. Sie führte Interdiffusionsexperimente mit neu entwickelten Diffusions-Multiples durch, erfasste im Rasterelektronenmikroskop Diffusionsprofile und interpretierte diese auf der Grundlage phänomenologischer Ansätze (Sauer-Freise Methode) und eines numerischen Modells, das erlaubt, up-hill-Phänomene in der Nähe der Kontaktfläche von Diffusionspaaren zu erklären. Adeline Durand war Stipendiatin der International Max Planck Research School SurMat. Ihr Forschungsprojekt wurde in Zusammenarbeit zwischen der Ruhr-Universität Bochum und dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung Düsseldorf durchgeführt. Außerdem arbeitete sie mit Forschern des ICAMS und der Universität Münster zusammen.

**Shirin Fahimi. Quantitative REM-Analyse zur Entwicklung des Gefüges in martensitischen Stählen während des Kriechens.** Shirin Fahimi arbeitete in der Gruppe von Juniorprofessor Victoria Yardley an der Charakterisierung von Gefügen in martensitischen Chromstählen. Dabei untersuchte sie die Entwicklung der Gefüge unter Kriechbedingungen. Dabei setzte sie die orientierungsabbildenden Rasterelektronenmikroskopie ein, um herauszufinden, ob Poren und Mikrorisse bevorzugt auf früheren Austenitkorn Grenzen entstehen, oder ob sie auch im Korninneren entstehen können. Für ihre Kriechrissuntersuchungen verwendete sie eine Mini-CT-Probe und charakterisierte die Gefügeentwicklung vor der Riss-Spitze.

**Adeline Durand. Atomic mobilities in high-entropy alloys – an interdiffusion study based on diffusion multiples.** Adeline Durand worked on the interdiffusion in complex solid solutions (high-entropy alloys). She determined atomic mobilities in high-entropy alloys with the objective to use this technique later to study alloys derived from the compositions of  $\gamma$ -channels in Ni-base single crystal superalloys. She conducted interdiffusion experiments using diffusion multiples with alloys with up to six different compositions. The systems she considered were quaternary alloys. In each part of the diffusion multiple, the composition of one alloy element was slightly reduced; this was balanced by equal increases in the concentrations of the three other elements. Long-term diffusion experiments were performed and diffusion profiles were recorded using energy dispersive x-ray analysis in a high-resolution scanning electron microscope. Interdiffusion co-efficients were evaluated from the concentration profiles and compared to results reported in the scientific literature. Adeline Durand conducted her research in collaboration with scientists from the MPIE in Düsseldorf, from ICAMS and from the University of Münster.

**Shirin Fahimi. Quantitative microstructural analysis of the microstructural evolution of tempered martensite.** Shirin Fahimi worked in the group of Junior Professor Victoria Yardley. She used orientation imaging scanning electron microscopy to study the evolution of microstructures in tempered martensite ferritic steels. Special emphasis was placed on the locations where pores and micro-cracks had formed. One objective was to find out whether they preferentially nucleated and grew on prior austenite grain boundaries or whether they formed everywhere in the microstructure. Shirin Fahimi also used miniature CT specimens to study creep crack growth and to find out how microstructures evolved in front of crack tips.

**Christian Großmann. Makroskopische und mikromechanische Finite-Elemente-Analysen an martensitischen und austenitischen Nickel-Titan Formgedächtnislegierungen.** Christian Großmann befasste sich in seiner Dissertation mit der Simulation von martensitischen und pseudoelastischen Formgedächtnislegierungen mit der Finite-Elemente-Methode (FEM). Im ersten Teil der Arbeit wurden mikromechanische Simulationen an elastisch anisotropen, verzwilligten martensitischen Strukturen durchgeführt. Im zweiten Teil der Arbeit wurden makroskopische FEM-Simulationen an praxisrelevanten und häufig eingesetzten Halbzeuggeometrien (Draht, Band, Scheiben) aus pseudoelastischem NiTi durchgeführt. Ein einfaches pseudoelastisches Stoffgesetz wurde in eine Abaqus-Materialsubroutine implementiert. Die Simulationen gaben detaillierte Einblicke in Spannungs- und Verformungszustände an Grenzflächen, von NiTi-Komponenten. Bereits während seiner Doktorarbeit bereitete Christian Großmann die Gründung der Firma Ingpuls vor, die heute als Ausgründung der Ruhr-Universität Bochum erfolgreich arbeitet.

**Philipp Hallensleben. Einkristalline Erstarrung von Ni-Basis-Superlegierungen.** Philipp Hallensleben arbeitete im SFB/TR 103 mit und stellte einkristalline Superlegierungen her. Dazu benutzte er eine modifizierte Bridgman-Methode, in der er mit Impfkristallen arbeitete. Ziel seiner Forschungstätigkeiten war es, zu einem besseren Verständnis von Kristallfehlern beizutragen, die beim Erstarren entstehen. Untersucht wurde die Entwicklung der dendritischen Mikrostruktur in unterschiedlichen Stadien der Einkristallherstellung. Er setzte hierzu Methoden der quantitativen Bildanalyse ein, um Verformungsprozesse von Dendriten zu erfassen. Dies erforderte, dass sowohl zahlreiche praktische Aspekte bei der Herstellung von einkristallinen Werkstoffen beherrscht werden mussten als

*Christian Großmann. Macroscopic and micromechanical finite element analysis of martensitic and austenitic nickel-titanium shape memory alloys. This dissertation deals with the simulation of martensitic and pseudoelastic shape memory alloys by applying the finite element method (FEM). In the first part of his thesis, micromechanical simulations were performed on elastically anisotropic, twinned martensitic structures. In the second part of the work, macroscopic FEM simulations were performed on frequently used semi-finished product geometries (wire, strip, discs) made of pseudoelastic NiTi. For this purpose, a suitable material law was selected from the scientific literature and implemented in an Abaqus material subroutine. The simulations provide detailed insights into stress and deformation states at interfaces that are of great importance for the practical application and understanding of NiTi components. During his time as a doctoral researcher, Christian Großmann started to prepare the establishment of Ingpuls, one of the successful spin-offs of our university. Today, it has more than 50 employees.*

*Philipp Hallensleben. Bridgman processing of single crystal Ni-base superalloys. Philipp Hallensleben helped to establish a Bridgman processing route for making cylindrical single crystal superalloys. Within the collaborative research center SFB/TR 103, his task was to find out how defects form during solidification. He used a modified Bridgman method to produce single crystal superalloys. He focused on how defects (dislocations and subgrains) evolve during crystal growth and solidification. He studied the evolution of dendritic microstructures in different stages of the single crystal growth process. Philipp Hallensleben made use of quantitative image analysis techniques to study the deformation of dendrites that may result in small-scale misorientations. The work*

auch verschiedene Charakterisierungsmethoden zum Einsatz kamen. Philipp Hallensleben führte seine Arbeiten in der Gruppe von Jan Frenzel durch und arbeitete mit Ingo Steinbach und Helge Schaar vom ICAMS zusammen. Dabei wurde der Prozess der Bridgman-Erstarrung skalenübergreifend erfasst. Auf der Makro-Skala wurde ein dreidimensionales numerisches Modell des Bridgman-Ofens erstellt und experimentell validiert. Auf der Mikro-Skala wurden die bei der dendritischen Erstarrung ablaufenden Entmischungsprozesse betrachtet.

*was conducted in the research group of Jan Frenzel in collaboration with Ingo Steinbach and Helge Schaar from ICAMS, who helped to model the process. On the macro-scale, a three-dimensional numerical model was developed and validated making it possible to access temperature fields in critical parts of the melting setup during crystal growth. On the micro-scale, the formation of dendrites and related partitioning of alloy elements was considered. The processes were investigated using electron micro-probe analysis.*



**Bild 12.14:** Philipp Hallensleben, erster Doktorand am neuen Bridgman-Ofen (Frenzel-Gruppe) war über lange Jahre Schlagzeuger in der Rock- und Bluesband des Instituts für Werkstoffe. **Fig. 12.14:** *Philipp Hallensleben was the first doctoral researcher who worked on the new Bridgman furnace in the Frenzel group. Over many years, he has been the drummer of the Institute for Materials rock and blues band.*

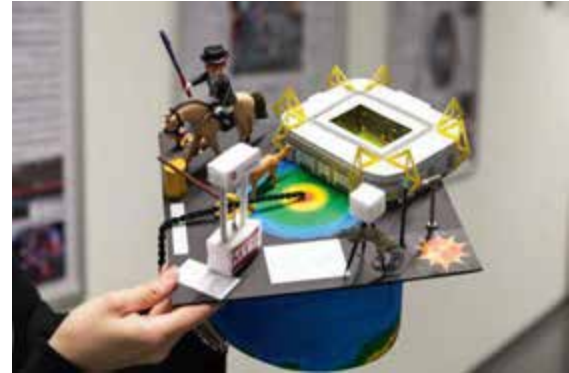
**Jenna Heyer. In-situ Mikroscherversuche an Gold-Einkristallen.** Jenna Heyer arbeitete in der Gruppe von Janine Pfetzinger an in-situ Mikroscherversuchen an Gold-Einkristallen im Rasterelektronenmikroskop. Es ging zunächst einmal darum, die Technik zu etablieren und die mechanischen Daten zu beurteilen. Dazu

**Jenna Heyer. In-situ microshear testing of gold single crystals.** Jenna Heyer worked in Janine Pfetzinger's group and performed in-situ microshear tests on Au single crystal in the scanning electron microscope. Her task was to establish the method as a new micro-mechanical test procedure and assess the resulting



nutzte sie fokussierte Ionenstrahlen, um in einem Gold-Einkristall  $\langle 1-10 \rangle \{111\}$  Mikroscherproben herzustellen. Die Verformungskurven analysierte sie sowohl im elastischen als auch im plastischen Bereich. Insbesondere konnte sie plötzlich plastische Verformungsschübe beobachten, die mit der Bildung makroskopischer Gleitbänder verbunden waren. Sie untersuchte die Statistik des Auftretens lokalisierter Verformungsvorgänge. Ihre Arbeit bildete insbesondere die Basis für weitere Untersuchungen mit der in-situ-Mikroschertechne an verfestigten Kupfereinkristallen (Nikolai Wiczorek) und an Ni-Basis-Superlegierungen (Guillaume Laplanche und Nikolai Wiczorek).

*mechanical data. For this purpose, she used focused ion beam micro machining to prepare  $\langle 1-10 \rangle \{111\}$  micro double-shear specimens in an Au single crystal. She analyzed the stress-strain response to constant strain rate loading in the elastic and plastic regime. Special emphasis was put on sudden plastic deformation bursts associated with the formation of macroscopic shear bands. She analyzed the statistics of the occurrence of such sudden macroscopic deformation events. Her work constitutes the basis for the application of the technique to more complex systems such as strain-hardened Cu single crystals (Nikolai Wiczorek) and Ni-base superalloys (Guillaume Laplanche and Nikolai Wiczorek).*



**Bild 12.15:** Dr.-Prüfung Stefanie Jaeger. **Fig. 12.15:** PhD exam Stefanie Jaeger.

**Stefanie Jaeger. Modellierung thermisch induzierter Martensit-Austenit Umwandlungen in NiTi-Legierungen.** Stefanie Jaeger war Mitglied der Forschungsgruppe von Oliver Kastner, der bereits vor Beginn dieses Berichtszeitraums nach Hannover berufen worden war. Stefanie Jaeger führte experimentelle und theoretische Arbeiten durch, in denen es um hysteretische Effekte bei der thermisch und mechanisch induzierten martensitischen Umwandlung in NiTi-Legierungen ging. Im experimentellen Teil ihrer Arbeit konnte sie zeigen, dass guter kristallographischer Fit zwischen Austenit und Martensit nicht nur zu engen thermischen, sondern auch zu kleinen mechanischen Hysteresen führt. Sie konnte auch zeigen, dass ein guter kristallographischer

*Stefanie Jaeger. Modeling of thermally induced austenite-martensite transformations in NiTi shape memory alloys. Stefanie Jaeger performed experimental and theoretical work on the hysteresis in NiTi-based shape memory alloys. She was a member of Oliver Kastner's group, who left our Chair prior to the onset of this reporting period. In the experimental part of the work, it was shown that a good crystallographic fit between austenite and martensite results in a small thermal and in a narrow mechanical hysteresis. Furthermore, shape memory alloys with a good crystallographic fit show smaller transformation strains. In the theoretical part of her work, Stefanie Jaeger established a constitutive equation that can account for these hysteretic effects, which*

Fit mit kleineren Umwandlungsdehnungen verbunden ist. Ihre Modellierungsarbeiten waren zwischen der Festkörperthermodynamik und der Mechanik angesiedelt. Dabei untersuchte sie hysteretische Phänomene, die oft vernachlässigt werden, wie z. B. die Abhängigkeit der Ausdehnung der thermischen Hysterese von der Abkühl- / Aufheizgeschwindigkeit. Dazu nutzte sie einen modifizierten Müller, Achenbach und Seelecke (MAS) Ansatz. Die gute Übereinstimmung zwischen Modell und Experiment zeigt, dass thermische Hysterese nicht nur auf der Grundlage von elastischen Verzerrungs- und Grenzflächenenergien bestimmt wird, sondern auch durch kinetische Prozesse geprägt wird.

**Dennis Langenkämper. Mikrostrukturelle Untersuchungen zur Phasenstabilität und zum Oxidationsverhalten im System Ti-Ta.** Dennis Langenkämper setzte bei seinen wissenschaftlichen Arbeiten einen Schwerpunkt bei der Durchstrahlungselektronenmikroskopie. Dabei untersuchte er Elementarprozesse, die das Umwandlungsverhalten von Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen (HT-FGL) auf Basis von Ti-Ta und das Verformungsverhalten von intermetallischen TiAl-Legierungen bestimmen. Im Vordergrund stand die Aufklärung des Ausscheidungsverhaltens von Ti-Ta Legierungen, welches die Anwendung limitiert. Gefördert wurde dieses Projekt von der DFG im Rahmen der Forschergruppe HT-FGL - Von den Grundlagen zur Anwendung (FOR1766). Zur mikrostrukturellen Charakterisierung setzte Dennis Langenkämper neben der Durchstrahlungs- und Rasterelektronenmikroskopie auch Beugungsmethoden ein. Er erarbeitete an der Hochauflösungs-Pulverbeugungs-Beamline PETRA III am DESY in Hamburg (Zusammenarbeit mit Prof. Wolfgang Schmahl, LMU). Chemische Analysen mit atomarer Auflösung wurden mit Hilfe der Atomsondentomographie (APT) in Kooperation mit Prof. Tong Li durchgeführt.

*are often ignored. To discuss the dependence of hysteretic phenomena on heating/cooling rates, the seminal Müller, Achenbach and Seelecke (MAS) model was modified. As in the original MAS model, our approach is rooted in a non-convex free energy representation, and rate equations are utilized to incorporate history dependence during non-equilibrium processes. It was shown how the model can be parameterized to rationalize experimental DSC data. The good agreement between model predictions and experimental results suggests that thermal hystereses are not only related to interfacial strain energy effects but also affected by the transient character of the transformation processes.*

**Dennis Langenkämper. Microstructural investigations on the phase stability and oxidation behavior in the Ti-Ta system.** Dennis Langenkämper used transmission electron microscopy to study elementary deformation and transformation processes in structural and functional materials. He investigated elementary processes that determine the transformation behavior of high-temperature shape memory alloys (HT-FGL) based on Ti-Ta. Moreover, he characterized deformation processes in the intermetallic high-temperature materials on TiAl basis. He explored the stability of Ti-Ta alloys, where the formation of  $\omega$ -phase limits applications. His project was embedded into a DFG research group on high-temperature shape memory alloys (FOR1766). For microstructural characterization, he used scanning and transmission electron microscopy in combination with diffraction experiments (in-situ heating experiments in the high-resolution powder diffraction beamline at DESY PETRA III in Hamburg, in collaboration with Prof. Wolfgang Schmahl, our project partner from LMU). Local chemical analysis on the nanoscale was performed in close collaboration with Prof. Tong Li.



**Bild 12.16:** Doktoranden des Lehrstuhls Werkstoffwissenschaft auf der ICSMA 18 in Columbus, Ohio. Ganz rechts hinten (sitzend): Dennis Langenkämper. **Fig. 12.16:** Members of our group at the ICSMA 18 in Columbus. Far back on the right (sitting): Dennis Langenkämper.

**Burkhard Maaß. Strukturbildungsprozesse bei der Herstellung und funktionelle Eigenschaften pseudoelastischer Ni-Ti-Cu-(X)-Formgedächtnislegierungen.** Burkhard Maaß untersuchte das ternäre System NiTiCu und die quaternären Systeme NiTiCuX (X: V, Cr, Fe und Co). Im System NiTiCu stellte er zwei Cu-Gehalte ein, die bei 5 und 10 Atom% lagen. Der aus der Literatur bekannte Cu-Effekt konnte zwar beobachtet werden, war jedoch wesentlich schwächer ausgeprägt, als das bislang vermutet wurde. In den quaternären Systemen untersuchte er den Effekt des Zuglegierens quaternärer Legierungselemente (3d-Übergangsmetalle: V, Cr, Fe und Co). Ein Highlight der Arbeit besteht darin, dass quaternäre pseudoelastische Formgedächtnislegierungen mit einer hervorragenden funktionellen Stabilität entwickelt werden konnten, wobei ein klarer Zusammenhang zwischen der thermischen

*Burkhard Maaß. Evolution of microstructure during processing and functional properties of pseudoelastic Ni-Ti-Cu-(X) shape memory alloys. Burkhard Maaß investigated shape memory alloys derived from the binary NiTi system: Ni-Ti-Cu and Ni-Ti-Cu-X (X: V, Cr, Fe and Co). In the case of the alloy NiTiCu, he focused on alloys with 5 and 10 atom-% Cu. He was able to confirm that the Cu-effect reported in the scientific literature exists but that it is not as strong as has been assumed so far. In quaternary systems, he explored the effects of adding a fourth alloy element (considering the d-shell elements V, Cr, Fe and Co). He proposed a quaternary composition that showed good pseudoelastic properties with an excellent functional stability. He also demonstrated that there was a clear correlation between the thermal hysteresis (observed in DSC experiments during cooling/heating cycles) and the mechani-*



Hysterese (beim Heizen und Kühlen) und der mechanischen Hysterese (beim Be- und Entlasten) aufgezeigt werden konnte.

*cal hysteresis (in loading and unloading experiments).*



**Bild 12.17:** Burkhard Maaß (mittlerweile einer der Geschäftsführer von Ingpuls) mit der Kanzlerin der Ruhr-Universität, Frau Dr. Reinhardt, bei der BOKOMAT 2019. **Fig. 12.17:** *Burkhard Maaß (today one of the directors of our spin-off company Ingpuls) together with Dr. Reinhardt, the chancellor of RUB.*

**Axel Marquardt. Zur Diffusion kleiner Moleküle in Formgedächtnispolymeren und zur Auswirkung dieser Eindiffusion auf funktionelle Eigenschaften.** Formgedächtnispolymere haben bislang nur in der Medizintechnik Bedeutung erlangt. Ziel der Arbeit von Axel Marquardt war, auszuloten, inwieweit diese faszinierende Materialklasse auch für Ingenieur-anwendungen genutzt werden kann. Dabei sind insbesondere Anwendungen von Interesse, bei denen Formgedächtnispolymere mit flüssigen Medien in Kontakt sind, aus denen kleine Moleküle wie Wasser, Aceton oder Ethanol in das Polymer eindiffundieren können. Axel Marquardt wendete die phänomenologische Diffusionstheorie in Kombination mit Gewichtsmessungen an, um die molekularen Beweglichkeiten kleiner Moleküle in Formgedächtnispolymeren zu bestimmen. Außerdem untersuchte er die Auswirkung dieser Eindiffusion auf die funktionellen

*Axel Marquardt. On the take-up of small molecules by shape memory polymers and the effect of this process on functional properties. Shape memory polymers have been considered for various medical applications. The objective of the work of Axel Marquardt was to explore whether these fascinating materials can also be used for engineering applications. He considered applications where the shape memory polymer is exposed to fluids like water, alcohol or acetone, from where small molecules can diffuse into the polymer. In the framework of a DFG-funded Priority Program, Axel Marquardt studied these phenomena. He combined phenomenological diffusion theory with weight gain studies to obtain kinetic data for the mobilities of small molecules in polymers. He then studied the effect of such processes on the functional properties of shape memory polymers, considering the evolution of exploitable actuator*

Eigenschaften. Erste Untersuchungen wurden auch zum Einfluss von Endlasten durchgeführt. Diese Arbeiten werden von Hakan Dumlu fortgeführt.

**Alexander Martin Matz. Werkstoff- und morphologieabhängige Einflüsse auf die mechanischen Eigenschaften von offenporigen Al-11Zn-Schäumen.** Metallschäume besitzen eine durch Poren und Hohlräume bedingte geringe Dichte, weisen aber eine hohe spezifische Steifigkeit und Festigkeit auf. Zusätzlich ermöglichen Metallschäume eine gesteigerte Absorption kinetischer Energie, wodurch sie im Besonderen für einige klassische Hauptprobleme der Konstruktion im Fahrzeug-, Anlagen- und Maschinenbau, wie Vibrationen (Dämpfung) und Sicherheit (Crashtest), verbesserte Lösungen anbieten. Alexander Matz, der als externer Doktorand von der Hochschule Pforzheim seine Arbeit durchführte, stellte metallische Schäume aus Al-11Zn in einem von ihm selbst entwickelten Verfahren her. Dabei konnte er deren relative Dichte sowie deren Morphologie ändern. Er befasste sich insbesondere auch mit der Mikrostruktur der metallischen Bestandteile der Schäume. Er untersuchte das makroskopische Verhalten der Schäume und beschrieb die Abhängigkeit mechanischer Kenngrößen von der relativen Dichte seiner Werkstoffe. Insbesondere gelang es ihm, elementare Verformungsmechanismen in einzelnen charakteristischen Strut-Elemente der Schäume zu untersuchen. Dies gelang durch aufwändige Zielpräparationen für Untersuchungen im Durchstrahlungselektronenmikroskop.

**Safa Mogharebi. Ermittlung struktureller und funktioneller Eigenschaften von Formgedächtnispolymeren unter besonderer Berücksichtigung des Spritzgießprozesses.** Safa Mogharebi stellte Probenkörper aus Formgedächtnispolymeren selber her, wobei er Granulate (thermoplastische Polyurethane) verwendete, die er in einem Polymerextruder

*strokes. He also started work on the effect of end loads on actuator performance, a field of research now continued by Hakan Dumlu.*

*Alexander Martin Matz. On the influence of material microstructure and morphology on the mechanical properties of open-pore Al-11Zn-foams. The properties of metallic foams are governed by the presence of pores and hollow spaces, resulting in a low density. They show a high specific mechanical stiffness and strength. Most importantly, metallic foams make it possible to absorb kinetic energies, which makes them candidate materials for a number of classical issues in different areas of mechanical engineering, where good damping potential is required or where security is important (crash tests). Alexander Matz worked as an external doctoral student in our group, where he used our microscopic methods. His processing and mechanical testing activities were performed at the University of Applied Sciences in Pforzheim. He produced metallic foams made of the model alloy Al-11Zn. He produced foams that varied in specific density and morphology. He placed special emphasis on the microstructure of the strut elements of the foams, where he was able to identify characteristic elementary deformation processes by preparing TEM samples out of the foam using focused ion beam micro machining. His work contributed to a better understanding of the role of material microstructure and foam morphology on the mechanical properties of metallic foams.*

*Safa Mogharebi. Structural and functional properties of shape memory polymers, with emphasis on the parameters used during injection molding. Safa Mogharebi investigated shape memory polymer specimens, which he produced himself in a polymer extruder. As starting material, he worked with a commercially available granulate of type*

verarbeitete. Dazu musste er zunächst einmal die optimalen Extrusionsparameter erarbeiten (Temperaturen, Drucke, Fließgeschwindigkeiten). Im zweiten Teil der Arbeit ging es um mechanische und thermische Charakterisierung der Formgedächtnispolymere. Dabei wurde die Wiederholbarkeit des Einwegeffekts von zwei Polymeren des Typs Estane™ untersucht. Gleichzeitig spielten aber auch konventionelle mechanische Eigenschaften wie etwa das Kriechen eine Rolle. Außerdem beschäftigte er sich mit der mikrostrukturellen / morphologischen Charakterisierung seiner Werkstoffe, wobei er die Werkstoffmikroskopie und die Infrarot-Spektroskopie einsetzte. Funktionelle und strukturelle Eigenschaften diskutierte er auf makromolekularer Grundlage. Mit seiner Arbeit legte Safa Mogharebi die Grundlage für einen erfolgreichen DFG-Antrag, der die Teilnahme unseres Lehrstuhls im Schwerpunktprogramm SPP 1713 ermöglichte und damit den Grundstein zu den Arbeiten von Axel Marquardt und Hakan Dumlu legte.

**Philipp Nörtershäuser. Anisotropes Kriechen der einkristallinen Superlegierung LEK94 um 1000°C.** Mit seiner Doktorarbeit legte Philipp Nörtershäuser wichtige Grundlagen für den Antrag des SFB/TR 103. Es ging um Unterschiede im Kriechverhalten zwischen Zugversuchen, die in [001]- und in [110]-Richtung durchgeführt wurden. Dazu führte er unterbrochene Kriechversuche durch. Er untersuchte, wie die unterschiedlichen Belastungsrichtungen auf das Vergrößerungsverhalten der  $\gamma'$ -Phase auswirkten. Außerdem untersuchte er die Versetzungsreaktionen, die zwei wesentliche Unterschiede verursachten: Erstens zeigten die [110]-Kriechversuche niedrigere Minimumkriechraten. Zweitens stieg aber die Kriechrate nach durchlaufen des Minimums im Falle der [110]-Kriechversuche steiler an. Philipp Nörtershäuser konnte diese Sachverhalte auf der Grund-

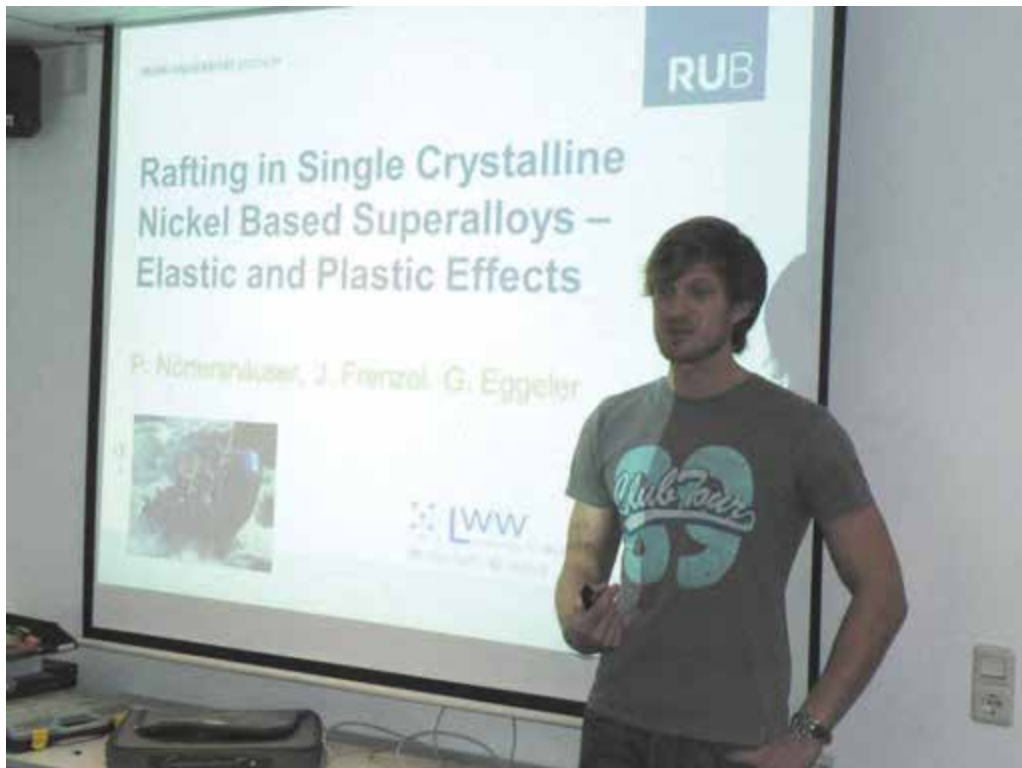
*Estane™, a thermoplastic polyurethane. In a first step, he optimized the injection molding processing parameters (temperature, pressure and flow rate). He then characterized his shape memory polymers. He studied the repeatability of the one-way effect in an attempt to find out whether one can detect functional fatigue effects. He also characterized conventional mechanical properties such as the creep behavior. Moreover, Safa Mogharebi made an effort to analyze the morphology of his polymers by using microscopic (optical and scanning electron microscopy) and spectroscopic (infrared spectroscopy) methods. He discussed the functional and structural properties of his polymers based on their macromolecular nature. With his work, Safa Mogharebi created the basis for a successful DFG research proposal that allowed us to participate in the DFG Priority Program SPP 1713. The doctoral research works of Axel Marquardt and Hakan Dumlu were funded through this Priority Program.*

**Philipp Nörtershäuser. Creep anisotropy of the single crystal superalloy LEK 94 at temperatures around 1000°C.** With his research, Philipp Nörtershäuser provided a basis for the research proposal of the SFB/TR 103, which started in 2012. He analyzed differences in the creep behavior between tensile specimens that were tensile loaded in [001]- and [110]-directions. He combined high-resolution creep testing with scanning electron microscopy and with diffraction contrast transmission electron microscopy. He investigated how the two different loading geometries affected the kinetics of rafting. He also found out why the [110] tensile creep experiments showed lower minimum creep rates and a steeper increase of the creep rate after the creep rate minimum. In his doctoral thesis, Philip Nörterhäuser established procedures for mechanical testing and microstructural analysis (SEM



lage seiner quantitativen metallographischen Untersuchungen am SEM und TEM erklären.

and TEM) that were used by many later superalloy research projects.



**Bild 12.18:** Philipp Nörtershäuser bei einem Seminarvortrag.  
**Fig. 12.18:** Seminar presentation by Philipp Nörtershäuser.

**Alireza Basir Parsa. Zur Rolle von Versetzungen bei der Entwicklung der Mikrostruktur einkristalliner Superlegierungen.** Die Aufgabe von Alireza Basir Parsa bestand darin, mit Hilfe der analytischen Elektronenmikroskopie Mikrostrukturen von einkristallinen Superlegierungen mit  $\gamma/\gamma'$ -Mikrostrukturen zu untersuchen. Dabei setzte er zwei Schwerpunkte. Einmal untersuchte er, welche mikrostrukturellen und chemischen Unterschiede es zwischen interdendritischen und dendritischen Bereichen gibt. Dann ging er vor allem der Frage nach, wie Versetzungen an  $\gamma/\gamma'$ -Grenzflächen die Oberflächenmorphologie beeinflussen. Dabei kann man davon ausgehen, dass das Spannungsfeld von Versetzungen die lokalen thermodynamischen Verhältnisse beeinflusst. Außerdem kann die Kurzschlussdiffusion entlang von Grenz-

*Alireza Basir Parsa. On the role of dislocations in the microstructural evolution of single crystal Ni-base superalloys.* In his doctoral thesis, Alireza Basir Parsa used analytical transmission electron microscopy to study the microstructure of single crystal Ni-base superalloys with  $\gamma/\gamma'$ -microstructures. He had two research objectives. First, he quantified microstructural and chemical differences between dendritic and interdendritic regions of the superalloy microstructure and discussed how these differences depend on the post-cast heat treatment. Then he investigated the effect of interface dislocations on the morphology of  $\gamma/\gamma'$ -interfaces. Dislocation stress fields can alter local thermodynamic conditions. However, dislocations can also affect the kinetics of microstructural evolution by providing easy pipe diffu-

flächenversetzungen eine Rolle spielen. Alireza Basir Parsa setzte Techniken ein, die von Leonardo Agudo entwickelt wurden. Mit seinen Ergebnissen trug er wesentlich zum Erfolg des SFB/TR 103 in dessen erster Förderphase bei.

**Alexander Paulsen. Werkstoffwissenschaftliche Untersuchungen an Hochtemperatur-Formgedächtnislegierungen auf TiTa Basis.** Seit einigen Jahren gibt es ein gesteigertes Interesse an Formgedächtnislegierungen, die einen Effekt bei höheren Temperaturen aufweisen als die bislang kommerziell erfolgreichsten Legierungen auf NiTi-Basis. In den letzten Jahren hat sich herausgestellt, dass TiTa ein solches Legierungssystem sein könnte. TiTa zeigt martensitische Umwandlungen, die zwischen 150 und 400°C ablaufen. Allerdings entsteht genau in diesem Temperaturbereich auch die  $\omega$ -Phase, die den Formgedächtniseffekt unterdrückt, wenn das Temperaturfenster mehrfach durchlaufen wird. Im Rahmen der von der DFG finanzierten Forschergruppe (FOR1766) arbeitete er an Konzepten, die erlauben, die Bildung dieser störenden Phase zu unterdrücken. Dies gelingt einmal durch Zwischenglühungen bei höheren Temperaturen, die zur Auflösung der  $\omega$ -Phase führen. Vielversprechend ist auch das Hinzulegieren bestimmter Elemente wie Sc, die der Bildung der  $\omega$ -Phase entgegenwirken. Alexander Paulsen beschäftigte sich nicht nur mit werkstoffwissenschaftlicher Grundlagenforschung. Mit Ausblick auf mögliche Anwendungen stellte er auch Hochtemperatur-Formgedächtnisaktoren her und untersuchte deren funktionelle Performance.

**Mustafa Rahim. Zum Einfluss von Sauerstoff- und Kohlenstoffverunreinigungen auf die Ermüdungslebensdauer von pseudoelastischen NiTi-Legierungen.** Im Bereich der NiTi-Formgedächtnislegierungen, insbesondere für Implan-

*sion paths. Alireza Basir Parsa applied some of the techniques developed by Leonardo Agudo in our group. With his results, Alireza provided important contributions to the success of SFB/TR 103 in its first funding phase.*

**Alexander Paulsen. Characterization of TiTa-based high-temperature shape memory alloys.** Alexander Paulsen worked on high-temperature shape memory alloys on the basis of TiTa. His goal was to find alloy additions that suppress the formation of the  $\omega$ -phase, which degrades functional properties, and to develop a shape memory actor that can operate at higher temperatures than conventional NiTi systems. In recent years, it has become clear that TiTa could be such an alloy system. It shows martensitic transformations occurring between 150 and 400°C. However, it is precisely in this temperature range that the  $\omega$ -phase develops, which suppresses the shape memory effect during thermo-mechanical cycling. As part of a research group funded by DFG (FOR1766), Alexander Paulsen worked on concepts to suppress the formation of this detrimental phase. This was achieved by intermediate annealing at higher temperatures resulting in the dissolution of the  $\omega$ -phase. It is also promising to assign certain elements to the system that counteract the formation of the  $\omega$ -phase. Such an element is scandium. Alexander Paulsen did not only concern himself with basic research. He also produced high-temperature shape memory actuators and characterized their functional performance.

**Mustafa Rahim. On the influence of oxygen and carbon impurity levels on the fatigue life of pseudoelastic NiTi alloys.** For pseudoelastic shape memory alloys for medical applications, especially for implants, a good fatigue resistance is

tatanwendungen, stellt sich die Frage, ob höhere Reinheitsgrade zu höheren Ermüdungslebensdauern führen. Dabei geht es insbesondere um die Einflüsse von Kohlenstoff und Sauerstoff, die zur Bildung spröder Titancarbide und Titanoxide führen können. Vor diesem Hintergrund untersuchte Mustafa Rahim die Ermüdung einer hochreinen NiTi-Legierung, und verglich ihr Verhalten mit dem von zwei Legierungen, denen geringe Mengen von Sauerstoff und Kohlenstoff zugemischt wurden. Im Bereich kleiner Bruchlastspielzahlen (LCF-Bereich) konnte man die drei Legierungen klar unterscheiden. Im Bereich hoher Lastspielzahlen beobachtet man starke Streuungen. Zwar zeigt auch eine Probe aus der hochreinen Legierung die höchste Lebensdauer. Aber hochreine Legierungen können auch früh versagen. Es gibt statistische Gesichtspunkte (Verteilung harter Teilchen im Volumen), die mitberücksichtigt werden müssen. Bei hohen Lastspielzahlen bestimmt die Risskeimbildung die Lebensdauer und kann sich über hohe Lastspielzahlen ( $> 100\ 000$ ) hinziehen. Das Risswachstum erfolgt dann schnell ( $\approx 2000$ ). Mustafa führte fraktographische Untersuchungen durch, bei denen er Risswachstum in einzelnen Lastzyklen nachweisen konnte.

*required. This is related to the question whether alloys with higher purity show better fatigue lives. The focus is on the influence of low oxygen and carbon levels, because these elements can react with titanium and form brittle oxides and carbides. Mustafa Rahim used bending rotation fatigue to study the low-cycle and high-cycle pseudoelastic fatigue behavior of high-purity NiTi alloys. He compared the results to the performance of NiTi alloys, to which small amounts of oxygen and carbon were added. In the low-cycle fatigue regime, higher purities result in significantly greater fatigue lives. Under high cycle fatigue conditions, the results were less clear. While it was found that one high purity specimen showed the greatest high-cycle fatigue life, there also were high purity specimens that failed early. There are statistical aspects (distribution of brittle particles in the material volume), which need to be considered. Under high-cycle fatigue conditions, crack initiation is life determining. It can require high load cycle numbers ( $> 100\ 000$ ) before a crack starts to grow. The subsequent crack growth period up to rupture can be short ( $\approx 2000$ ). Using SEM extensively, Mustafa was able to identify growth cycle by cycle.*



**Bild 12.19:** Fotos von der Doktorprüfung von Mustafa Rahim. Links: Mustafa Rahim mit Burkhard Maaß. Rechts: Die Brüder Mogharebi. **Fig. 12.19:** Photos from the doctoral exam of Mustafa Rahim. Left: Mustafa Rahim and Burkhard Maaß. Right: the Mogharebi brothers.



**Christopher Rynio. Mechanische und mikrostrukturelle Untersuchungen zum Hochtemperaturverschleiß von Ventilwerkstoffen für Dieselmotoren.** Den technischen Hintergrund der Arbeit von Herrn Rynio stellt der Hochtemperaturverschleiß von Motorventilen aus der Nickel-Basis-Legierung Alloy 80A dar, die in zyklischem Kontakt mit Gusseisen-Ventilsitzringen schließen. Dies ist für die Betreiber von Viertakt-Dieselmotoren großer Lastwagen von technischer Bedeutung. In seiner Arbeit untersucht Herr Rynio den Hochtemperaturverschleiß bis zu 800°C. Dabei geht es um den Einfluss der Temperatur auf den oszillierenden Gleitverschleiß. Die tribologischen Untersuchungen führte Herr Rynio in seiner Arbeit mit Hilfe eines Stift-auf-Scheibe-Tribometers durch. Neben der mechanischen Beschreibung des Verschleißverhaltens, charakterisierte Christopher Rynio die Verschleißschichten in seinem System mit Hilfe der Durchstrahlungselektronenmikroskopie. Seine Ergebnisse konnte er in zwei Publikationen in der Zeitschrift *Wear* veröffentlichen.

**Ramona Rynko. Mikrostrukturelle Untersuchungen von thermisch und thermomechanisch induzierten Strukturbildungsprozessen in Ti-Ta Hochtemperaturformgedächtnislegierungen.** Im Rahmen der Arbeit von Ramona Rynko wurde erstmals das Kriechen einer Ti<sub>70</sub>Ta<sub>30</sub>-Legierung untersucht. Frau Rynko dokumentiert die Form einzelner Kriechkurven und beschreibt die Spannungs- und Temperaturabhängigkeit der minimalen Kriechrate. Ein Schwerpunkt der Arbeit von Frau Rynko lag bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Entwicklung der Mikrostruktur bei verschiedenen Wärmebehandlungen mit und ohne überlagerter Spannung. Sie konnte zeigen, dass bei der Auslagerung von Ti<sub>70</sub>Ta<sub>30</sub>-Bleichen bei 300°C eine neue hexagonale  $\omega$ -Phase entsteht, die aus dem Bereich der Titan-Legierungen bekannt ist. Diese  $\omega$ -Phase entsteht in Form von

*Christopher Rynio. Mechanical and microstructural investigations of high-temperature wear of valve materials for diesel engines.* Wear has been a traditional materials research topic in our group. However, for an extended period of time, we did not work in this field. A new start was made with the doctoral thesis of Christopher Rynio, who investigated high-temperature wear of a valve for a large diesel engine, where a Nimonic 80A type of valve interacts with a specific cast iron seat ring. Experiments were performed at temperatures up to 800°C using a reciprocal sliding wear pin on a disk test rig. Christopher Rynio characterized the mechanical wear properties of his system. Most importantly, he used focused ion beam TEM foil preparation in combination with analytical transmission electron microscopy to study the elementary processes governing high-temperature wear. It was found that good wear resistance is associated with a fast formation of glaze layers. The results were published in two contributions to the journal *Wear*.

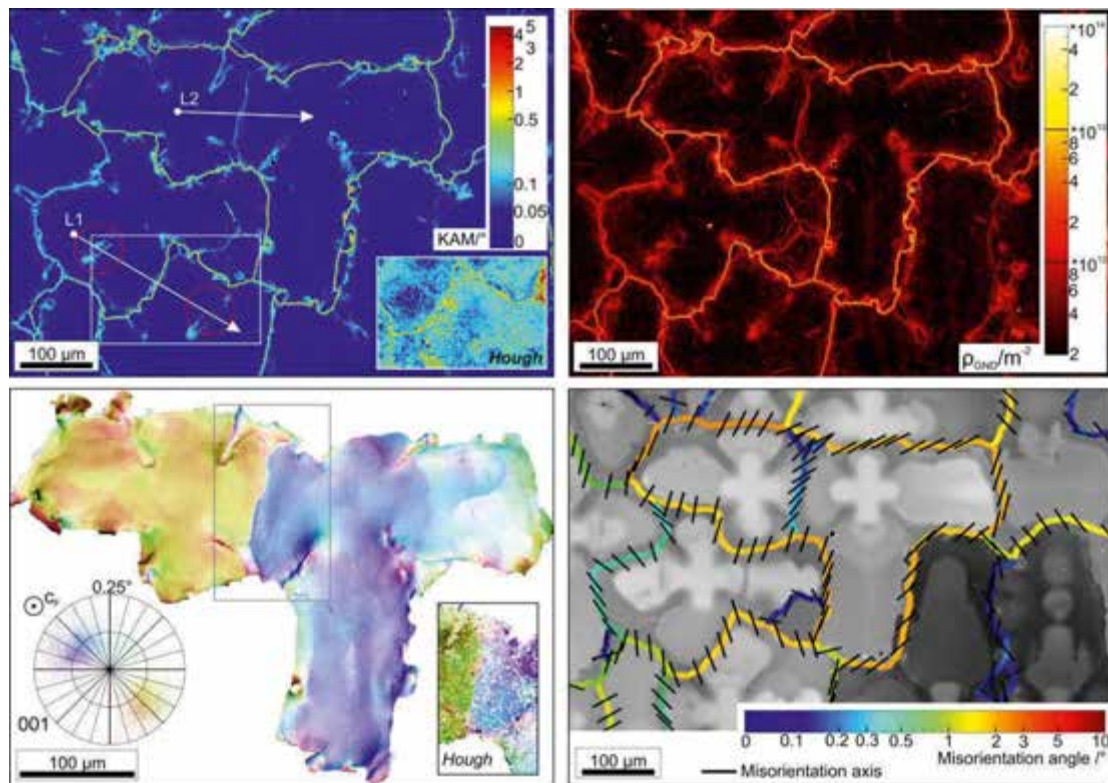
*Ramona Rynko. Microstructural investigation of thermally and thermo-mechanically induced microstructural evolution processes in a Ti-Ta high-temperature shape memory alloys.* When the shape memory effect is exploited at elevated temperatures, creep properties are investigated. Ramona Rynko was the first to study creep of the high-temperature shape memory alloys Ti<sub>70</sub>Ta<sub>30</sub>. She documented the shape of individual creep curves and studied the stress and temperature dependence of the secondary creep rate. One focus of her work was the investigation of microstructural evolution during heat treatments with and without superimposed mechanical stresses using transmission electron microscopy. Special emphasis was placed on the nucleation and growth of the hexagonal  $\omega$ -phase in the 300°C temperature range. This detrimental phase is well known in the metal-

sehr kleinen Teilchen (1 bis 2 nm). Die zunehmende Bildung von  $\omega$ -Phase führt zu einer deutlichen Verschlechterung des Formgedächtniseffekts. Das kann so weit gehen, dass nach fünf Heiz- und Kühlzyklen keine Umwandlung mehr erfolgt. Die metallkundlichen Untersuchungen von Frau Rynko legen nahe, dass das derzeitige metastabile Ti-Ta-Zustandsdiagramm modifiziert werden muss.

**Hannah Sommer. Strukturbildungsprozesse bei Wärmebehandlungen und beim Kriechen polykristalliner Nickel-Basis-Superlegierungen.** Hannah Sommer untersuchte Strukturbildungsprozesse bei Wärmebehandlungen und beim Kriechen polykristalliner Superlegierungen auf Ni-Basis. Das Projekt wurde in einer Zusammenarbeit mit der Firma VDM Metals GmbH, die die Legierung C-263 in gewalzter Form bereitstellte, durchgeführt. Härtemessungen und mikrostrukturelle Untersuchungen mittels Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie der verschiedenen Auslagerungszustände gaben Aufschluss über die Verteilung der Phasen, deren kristallographischen Orientierungsbeziehungen, deren Vergrößerungsverhalten sowie deren Einfluss auf die Härte. In Kriechversuchen wurden bei Temperaturen unter 900°C höhere scheinbare Aktivierungsenergien gemessen als bei höheren Temperaturen, bei denen sich die  $\gamma'$  Phase auflöst. Ausgehend von der Legierung C-263, wurde eine neue Legierung C-264 entwickelt, welche eine höhere Temperaturstabilität sowie ein verbessertes Kriechverhalten zeigt.

*lurgy of Ti-alloys. The phase appears and forms very small particles (1 to 2 nm). These particles act as obstacles for the martensitic transformation, and there are cases where they completely suppress the martensitic transformation after only five heating and cooling cycles. Ramona Rynko explored the thermodynamic and kinetic aspects of the formation of the  $\omega$ -phase and, based on her TEM results, suggested modifications of the existing metastable Ti-Ta phase diagram.*

**Hannah Sommer. Effect of heat treatments and creep on the microstructure of polycrystalline nickel-base superalloys.** Hannah Sommer investigated the microstructural evolution during heat treatments and creep of a polycrystalline Ni-base superalloy. The project was carried out in collaboration between our Chair of Materials Science and the research and development department of VDM Metals in Werdohl. VDM supplied the C-263 base alloy as rolled product. Hardness measurements and microstructural investigations using scanning and transmission electron microscopy of various material states produced in different ageing processes were performed. The physical nature of phases, their crystallographic orientation relationships with the matrix, their coarsening behaviour and their influence on hardness was investigated. In creep tests, higher apparent activation energies were observed at temperatures below 900°C. They were lower at higher temperatures where the  $\gamma'$ -phase dissolved. Starting with C-263 as base alloy, a new alloy C-264 was developed that exhibits higher temperature stability and improved creep behavior.



**Bild 12.20:** Aus Pascal Thome's Veröffentlichung in *Ultramicroscopy* 2019. Unser neues hochauflösendes EBSD Verfahren. **Fig. 12.20:** From Pascal Thome's publication in *Ultramicroscopy* 2019. Our new high-resolution EBSD method.

**Pascal Thome. Ein Beitrag zur methodischen Entwicklung der hochauflösenden orientierungsabbildenden Rasterelektronenmikroskopie.** Pascal Thome entwickelte in seiner Doktorarbeit maßgeschneiderte Softwarealgorithmen, um materialsspezifische Eigenschaften mittels der Elektronenrückstreu-Diffraktometrie (EBSD: Electron BackScatter Diffraction) im Rasterelektronenmikroskop (REM) zu ermitteln. Er untersucht dabei die grundlegenden kristallographischen und morphologischen Prinzipien martensitischer Phasentransformationen in verschiedenen Eisenlegierungen. Parallel dazu erarbeitete er ein neues Verfahren, mit dessen Hilfe die Kristallmosaizität in einkristallinen Superlegierungen präzise beschrieben werden kann. Hierfür nutzte er ein neuartiges Indizierungsverfahren für Kikuchi-Beugungsbilder, welches auf der Grundlage einer Kreuzkorrelation basiert und eine stark verbesserte Auflösung von Orientierungsunterschieden ermöglicht.

*Pascal Thome. Using advanced orientation imaging scanning electron microscopy to reveal subtle microstructural details after martensitic transformations and dendritic solidifications.* Pascal Thome developed new software algorithms to characterize specific microstructural features by electron backscatter electron diffraction (EBSD) in the scanning electron microscope (SEM). He investigated fundamental crystallographic principles and revealed special morphological features after martensitic phase transformations in iron-based alloys. He also developed a high-resolution EBSD method that allows a precise description of crystal mosaicity in single crystal Ni-base superalloys. This part of the work was embedded into the collaborative research center SFB/TR 103. The new method is based on a cross-correlation procedure and provides an improved high-angular resolution. Simultaneously and as another feature of his new method,



Zusätzlich entwickelte er neue Visualisierungsmethoden, um die feinen Orientierungsunterschiede auf intuitive Weise erfassbar zu machen.

**Hongcai Wang. Zum Einfluss von Bor auf das Kriechverhalten von Stählen.** Hongcai Wang war als Doktorand der International Max Planck Research School SurMat am Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft beschäftigt. Er befasste sich mit der Wechselwirkung zwischen B und Leerstellen und anderen Legierungselementen und versuchte zu erklären, warum sich B günstig auf die Kriech-eigenschaften auswirkt. Er führte experimentelle Untersuchungen an einem Modellsystem vom Typ Fe-Cr-C-B-N durch. Es ging um die Vergrößerung von Karbiden und um die Stabilität der ultrafeinen Ferritkörner. Außerdem beschäftigte er sich mit Ab-initio-Rechnungen, um die energetische Situation von B, C und N an Korngrenzen des Eisens zu untersuchen. Die Ergebnisse wurden in thermodynamischen und kinetischen Modellen genutzt.

**Philipp Wollgramm. Untersuchung des Kriechverhaltens einkristalliner Superlegierungen mit Hilfe von Minikriechproben.** Philipp Wollgramm befasste sich im SFB/TR 103 mit dem Kriechen einkristalliner Superlegierungen. Insbesondere erarbeitete er eine Datenbasis, die das Kriechverhalten der Legierung ERBO-1 (CMSX 4 Typ) im gesamten technisch relevanten Temperatur- und Spannungsbereich beschreibt. Er konnte beschreiben, wie die Form von Kriechkurven in verschiedenen Spannungs- und Temperaturbereichen aussehen und welche Werte die Aktivierungsparameter des Kriechens (Spannungsexponent und scheinbare Aktivierungsenergie des Kriechens) haben. Außerdem ging er der Frage nach, wie Re das Kriechverhalten einkristalliner Superlegierungen beeinflusst. Die in seiner Doktorarbeit dokumentierten Kriech-

*Pascal Thome applied new ways of visualizing different types of orientation differences enabling an intuitive appreciation of crystallographic microstructural features.*

*Hongcai Wang. On the influence of boron on the creep behavior of steels. Hongcai Wang worked at our Chair as a doctoral student of the International Max Planck Research School SurMat and was a member of Prof. Victoria Yardley's research group. One objective of his work was to study the interaction of B with vacancies and with other alloy elements and to help to explain why B has a beneficial effect on creep strength. To this end, he conducted experimental studies addressing the effect of B on particle coarsening and on micro-grain stability in the model alloys of type Fe-Cr-C-B-N. He also made an attempt to use ab-initio calculations to study the atomistic interaction of B, C and N with Fe grain boundaries and to integrate these results into thermodynamic and kinetic models.*

*Philipp Wollgramm. Investigation of the creep behavior of single crystal Ni-base superalloys using miniature tensile creep specimens. Philipp Wollgramm investigated creep of single crystal superalloys in SFB/TR 103. He established a full set of data, which characterize the creep behavior of the SFB/TR 103 reference alloy ERBO-1 (CMSX-4 type) in the whole technically relevant stress and temperature range. He documented how the shapes of individual creep curves and the creep activation parameters (the power law stress exponent  $n$  and the apparent activation energy of creep) depend on specific stress and temperature regimes. By comparing his own creep data with results from first principle calculations, he explored how the alloy element Re affects the creep of single crystal superalloys. His comprehensive creep data set*

ergebnisse stellten eine wichtige Grundlage für eine Vielzahl mikrostruktureller Untersuchungen im SFB/TR 103 dar. Dazu gehörte auch die Beobachtung eines Doppelminimums bei Kriechkurven, die im Bereich niedriger Spannungen und hoher Temperaturen aufgezeichnet wurden.

**André Wiczorek. Kühlen mit Formgedächtnislegierungen.** André Wiczorek untersuchte in seiner Doktorarbeit, wie gut sich NiTi-Formgedächtnislegierungen für den Einsatz in der Kühltechnik eignen. Bei der martensitischen Umwandlung wird Energie in Form von latenter Wärme frei bzw. absorbiert, was kalorische Effekte verursacht, die in Kühlapplikationen genutzt werden können. Die Arbeit von André Wiczorek zielte auf ein besseres Verständnis von kalorischen Effekten in Formgedächtnislegierungen ab. Es sollte geklärt werden, inwieweit diese Effekte von chemischen und mikrostrukturellen Randbedingungen abhängen, und wie NiTi-basierte Legierungen für Anwendungen als Festkörper-Kühlmedium optimiert werden kann. Die verschiedenen Legierungen wurden selbst erschmolzen und thermomechanisch nachbehandelt. Anschließend wurden mechanische (Zugversuche), thermische (DSC-Analyse und Thermographie) und mikroskopische (REM-, TEM-Aufnahmen) Untersuchungen durchgeführt. Die Arbeit von André Wiczorek war in das DFG Schwerpunktprogramm "SPP1599: Caloric Effects in Ferroic Materials: New Concepts for Cooling" eingebunden.

**Nikolai Wiczorek. Einsatz von In-situ Mikroscherversuchen für die Untersuchungen von Verfestigungsvorgängen und von Teilchenhärtung.** Nikolai Wiczorek untersuchte das Mikroscherverhalten von Cu-Einkristallen und von Ni-Basis-Superlegierungseinkristallen. Dabei setzte er die am Lehrstuhl entwickelte in-situ REM-Mikroschertechnik

*provided a base for guidance in several research activities within SFB/TR 103. Thus he documented the existence of an unusual double minimum creep rate behavior, which characterizes low-temperature and high-stress creep.*

**André Wiczorek. Ferroic cooling with shape memory alloys.** *In his doctoral thesis, André Wiczorek explored the possibility of using shape memory alloys for cooling. For this purpose, he analyzed caloric effects in pseudoelastic NiTi shape memory alloys. The shape memory effect relies on a martensitic phase transformation. During the reverse transformation from stress-induced martensite to austenite, latent heats are generated that can be used for cooling processes. The work aimed at a better understanding of caloric effects in NiTi. Previously, it was not clear how latent heats depend on chemical compositions and microstructures, and how NiTi can be optimized for solid-state refrigeration. This also required taking a look at functional and structural fatigue phenomena, because frequent cycling between forward and reverse phase transitions is required. André Wiczorek produced his own samples through melting and thermal treatments. All alloys were mechanically and microstructurally characterized, with a strong focus on thermal properties. The project was part of the DFG funded Priority Program "SPP1599: Caloric Effects in Ferroic Materials: New Concepts for Cooling."*

**Nikolai Wiczorek. Application of in-situ microshear testing for the investigation of strain hardening and particle strengthening.** *Nikolai Wiczorek investigated the microshear behavior of Cu single crystals and of single crystal Ni-base superalloys. In the case of the Cu single crystals, he introduced higher dislocation densities by pre-deforming the*

ein. Im Falle der Cu-Einkristalle, prägte er zunächst in Zugversuchen verschiedene Vorverformungen auf. Dabei stieg die Versetzungsdichte an, wobei es auch zu einer Lokalisierung der plastischen Verformung kam. Bei einkristallinen Ni-Basis Superlegierungen mussten sehr viel höhere Belastungen aufgebracht werden als das für die bis dahin untersuchten Modellsysteme (Au- und Cu-Einkristalle) der Fall war. Im Falle der einkristallinen Ni-Basis Superlegierungen konnte Nikolai Wiczorek mechanische Anisotropie nachweisen, indem er unterschiedliche kristallographische Schersysteme verglich. Bei Vielfachgleitung werden (anders als bei Einfachgleitung) keine Scherstufen beobachtet.

**Xiaoxiang Wu. Elementare Verformungsprozesse des Kriechens von einkristallinen Superlegierungen auf Ni-Basis bei niedrigen Temperaturen und hohen Spannungen.** Xiaoxiang Wu untersuchte die Verformungsmechanismen in einkristallinen Ni-Basis-Superlegierungen unter Kriechbedingungen bei niedrigen Temperaturen und hohen Spannungen. Sie setzte die Durchstrahlungselektronenmikroskopie ein, um das Auftreten der zwei Kriechratenminima zu erklären, die in Experimenten beobachtet wurden. Das erste Minimum wurde durch Spannungsverteilungen zwischen dendritischen und interdendritischen Bereichen, durch die Verarmung von beweglichen Versetzungen in  $\gamma$ -Kanälen und durch einen „run and stop“-Mechanismus erklärt. Der danach folgende Anstieg zum lokalen Maximum hat mit der Keimbildung planarer Fehler zu tun, die durch Versetzungsreaktionen in den  $\gamma$ -Kanälen erfolgt. Xiaoxiang Wu konnte die entsprechenden Versetzungsreaktionen im TEM beobachten. Sie lieferte die Grundlage für nachfolgende Untersuchungen.

*materials in tension to different strain levels. It turned out that localized deformation processes lead to the formation of shear bands that needed to be considered in the analysis of the results. The challenge for  $\mu$ -shear testing of Ni-base superalloys was related to the fact that much higher loads needed to be applied than in case of the previously investigated model alloys. Nikolai Wiczorek was able to detect a clear mechanical anisotropy. He also found out that when multiple microscopic slip systems are activated, the shear zones deform smoothly and no distinct shear steps are detected. The results of Nikolai Wiczorek were published in two Acta Materialia papers.*

**Xiaoxiang Wu. Elementary deformation processes during low-temperature and high-stress creep of Ni-base single crystal superalloys.** Xiaoxiang Wu investigated the low-temperature and high-stress deformation mechanisms of single crystal Ni-bases superalloys. She used transmission electron microscopy to investigate a set of creep specimens that were interrupted at small strains. Her investigations aimed at providing an explanation for the double minimum creep behavior, which was experimentally observed. Three possible microstructural reasons were identified: (i) load transfer between dendritic and interdendritic regions, (ii) the pulling off of in-grown interface dislocations and (iii) a "run and stop" mechanism for dislocations in horizontal channels due to the irregular arrangement and size distribution of the  $\gamma'$  precipitates. The second minimum is caused by a steady increase of dislocation density and the corresponding increase of numbers of obstacles to dislocation motion. Special emphasis was placed on the nucleation of planar faults.

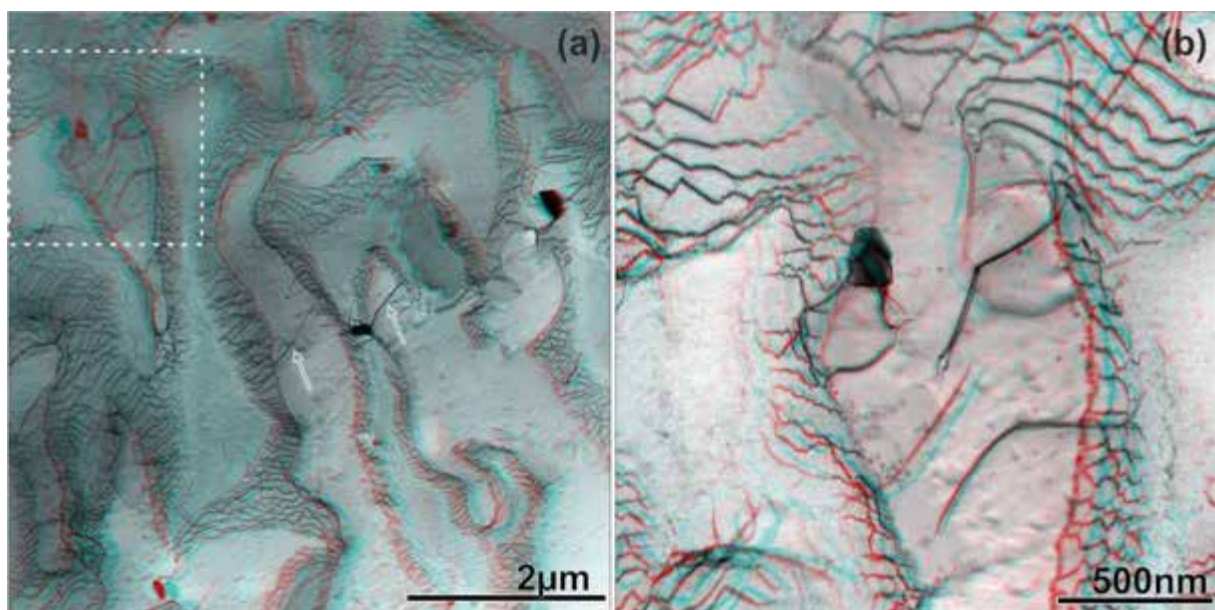


## 13. Veröffentlichungen

## 13. Publications

**2012:** L. Agudo Jácome, G. Eggeler, A. Dlouhý, Advanced scanning transmission electron microscopy of structural and functional engineering materials, *Ultramicroscopy*, 122 (2012) pp. 48-59

L. Agudo Jácome, J. Heyer, P. Nörtershäuser, C. Somsen, A. Dlouhý, G. Eggeler, High Temperature Dislocation Creep in Different Tensile Directions in LEK 94, in: Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (JIMIS 11), Kyoto, Japan, May 27 – 31, 2012, Edited by: K. Maruyama, F. Abe, M. Igarashi, K. Kishida, M. Suzuki, K. Yoshimi, The Japan Institute of Metals, Sendai, 2012, paper A1



**Bild 13.1:** 3D Stereobild einer gekrochenen Superlegierung. 3D Eindruck entsteht beim Verwenden einer farbigen Brille (👓, Agudo Jácome Methode). (a) Übersichtsaufnahme. (b) Höhere Vergrößerung des ausgewählten Bereichs. **Fig. 13.1:** 3D stereo micrograph of a crept superalloy. 3D impression when viewed with colored glasses (👓, Agudo Jácome method). (a) Overview micrograph. (b) Detail at higher magnification.

T. Depka, C. Somsen, F. Benesch, V.A. Yardley, G. Eggeler, D. Mukherji, J. Rösler, Mechanical Behavior of Carbide Strengthened Co-Re Alloys during Creep at 1100°C and Microstructural Evolution observed by SEM and OIM, in: Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (JIMIS 11), Kyoto, Japan, May 27 – 31, 2012, Edited by: K. Maruyama, F. Abe, M. Igarashi, K. Kishida, M. Suzuki, K. Yoshimi, The Japan Institute of Metals, Sendai, 2012, paper D17

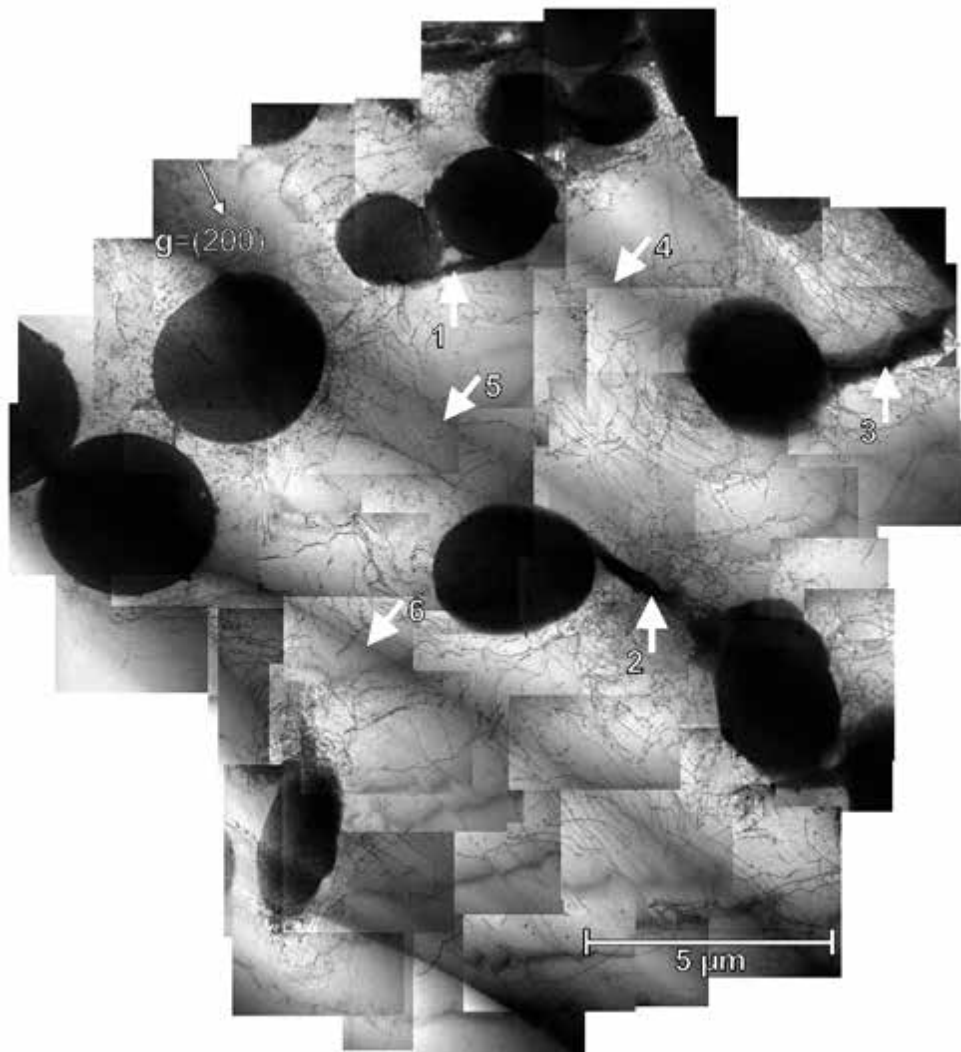
S. Fähler, U.K. Rössler, O. Kastner, J. Eckert, G. Eggeler, H. Emmerich, P. Entel, S. Müller, E. Quandt, K. Albe, Caloric Effects in Ferrous Materials: New Concepts for Cooling, *Adv. Eng. Mat.*, 14 (2012) pp. 10-19

J. Garcia, R. Pitonak, L. Agudo Jácome, A. Kostka, Synthesis of titanium carbonitride coating layers with star-shaped crystallite morphology, *Materials Letters*, 68 (2012) pp. 71-74

B. Gorr, S. Burk, T. Depka, C. Somsen, H. Abu-Samra, H.J. Christ, G. Eggeler, Effect of Si addition on the oxidation resistance of Co-Re-Cr-alloys: Recent achievements in the development of novel alloys, *Int. J. Mater. Res.*, 103 (2012) pp. 24-30

C. Haberland, H. Meier, J. Frenzel, On the properties of Ni-rich NiTi shape memory parts produced by selective laser melting, *Proc. of the ASME conference on smart materials, adaptive structures and intelligent systems*, Vol. 1, (2012) pp. 97-104

D. Kurumlu, E.J. Payton, M.L. Young, M. Schöbel, G. Requena, G. Eggeler, High-temperature strength and damage evolution in short fiber reinforced aluminium alloys studied by miniature creep testing and synchrotron microtomography, *Acta Mater.*, 60 (2012) pp. 67-78

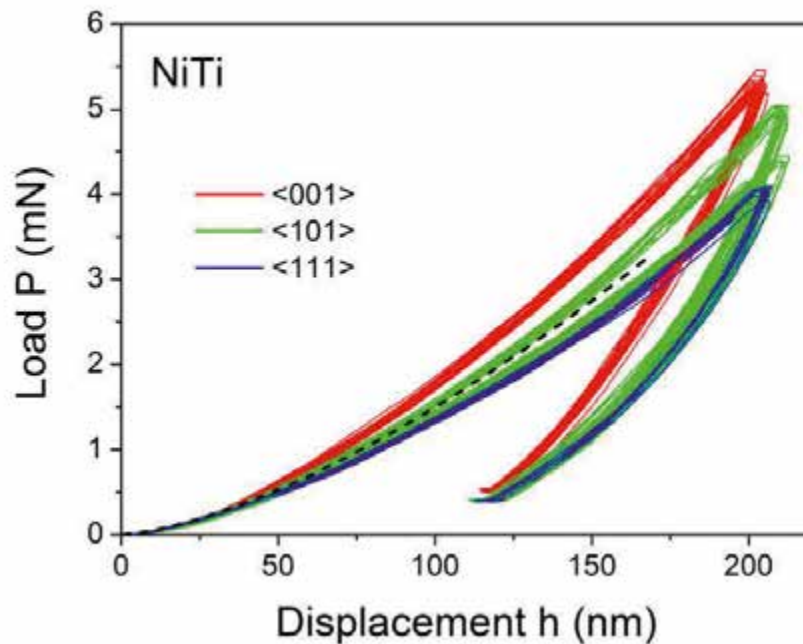


**Bild 13.2:** Verfestigte Zone mit erhöhter Versetzungsdichte in Fasernähe in einer kurzfaserverstärkten Al-Legierung (Kurumlu et al., 2012). **Fig. 13.2:** Work hardened zones with elevated dislocation densities around fibers in a short fiber reinforced Al-MMC (Kurumlu et al., 2012).

- D. Kurumlu, E.J. Payton, C. Somsen, A. Dlouhý, G. Eggeler, On the presence of work-hardened zones around fibers in a short fiber reinforced Al metal matrix composites, *Acta Mater.*, 60 (2012) pp. 6051-6063
- D. Kurumlu, M.L. Young, A. Dlouhý, G. Eggeler, New Investigations of a Short Fiber Reinforced Metal Matrix Composite, in: *Proceedings of the 12th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (JIMIS 11)*, Kyoto, Japan, May 27 – 31, 2012, Edited by: K. Maruyama, F. Abe, M. Igarashi, K. Kishida, M. Suzuki, K. Yoshimi, The Japan Institute of Metals, Sendai, 2012, paper C33
- G. Laplanche, P. Gadaud, J. Bonneville, A. Joulain, V. Gauthier-Brunet, S. Dubois, F. Jay, Spark plasma sintering synthesis and mechanical spectroscopy of the omega-Al<sub>0.7</sub>Cu<sub>0.2</sub>Fe<sub>0.1</sub> phase, *J. Mater. Sci.*, 47 (2012) pp. 169-175
- S. Manchuraju, A. Kröger, C. Somsen, A. Dlouhý, G. Eggeler, P.M. Sarosi, P.M. Anderson, M.J. Mills, Pseudoelastic deformation and size effects during in situ transmission electron microscopy tensile testing of NiTi, *Acta Mater.*, 60 (2012) pp. 2770-2777
- L. Neelakantan, B. Monchev, M. Frotscher, G. Eggeler, The influence of secondary phase particles on the passivity of NiTi shape memory alloys, *Materials and Corrosion – Werkstoffe und Korrosion*, 63 (2012) pp. 979-984
- P. Nörtershäuser, P. Thome, L. Agudo Jácome, J. Frenzel, G. Eggeler, Rafting during tensile creep in [001] and [110] directions, in: *Proceedings of the 12th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (JIMIS 11)*, Kyoto, Japan, May 27 – 31, 2012, Edited by: K. Maruyama, F. Abe, M. Igarashi, K. Kishida, M. Suzuki, K. Yoshimi, The Japan Institute of Metals, Sendai, 2012, paper A8
- F. Otto, G.B. Viswanathan, E.J. Payton, J. Frenzel, G. Eggeler, On the effect of grain boundary segregation on creep and creep rupture, *Acta Mater.*, 60 (2012) pp. 2982-2998
- F. Otto, E.J. Payton, J. Frenzel, G. Eggeler, The effectiveness of coincidence site lattice criteria in predicting creep cavitation resistance, *J. Mater. Sci.*, 47 (2012) pp. 2915-2927
- E.J. Payton, A. Aghajani, F. Otto, G. Eggeler, V.A. Yardley, On the nature of internal interfaces in a tempered martensite ferritic steel and their evolution during long-term creep, *Scripta Mater.*, 66 (2012) pp. 1045-1048
- J. Pfetzinger-Micklich, R. Ghisleni, T. Simon, Ch. Somsen, J. Michler, G. Eggeler, Orientation dependence of stress-induced phase transformation and dislocation plasticity in NiTi shape memory alloys on the micro scale, *Mat. Sci. Eng.*, A538 (2012) pp. 265-271
- P. Wollgramm, P. Nörtershäuser, G. Eggeler, On the coarsening of the  $\gamma/\gamma'$ -microstructure in crack tip stress fields of differently oriented single crystalline miniature CT-specimens at 1020°C, in: *Proceedings of the 12th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (JIMIS 11)*, Kyoto, Japan, May 27 – 31, 2012, Edited by: K. Maruyama, F. Abe, M. Igarashi, K. Kishida, M. Suzuki, K. Yoshimi, The Japan Institute of Metals, Sendai, 2012, paper A9
- D. Wu, S. Xue, J. Frenzel, G. Eggeler, Q. Zhai, H. Zheng, Atomic ordering effect in Ni<sub>50</sub>Mn<sub>37</sub>Sn<sub>13</sub> magnetocaloric ribbons, *Mat. Sci. Eng.*, A534 (2012) pp. 568-572



M.L. Young, J.D. DeFouw, J. Frenzel, D.C. Dunand, Cast-replicated NiTiCu foams with superelastic properties, *Met. Mat. Trans. A*, 43 (2012) pp. 2939-2944



**Bild 13.3:** Richtungsabhängigkeit der Nanohärte in NiTi (Pfetzing et al., 2012).

*Fig. 13.3: Crystallographic anisotropy of nanohardness in NiTi (Pfetzing et al., 2012).*

M.L. Young, M. Frotscher, H.B. Bei, T. Simon, E.P. George, G. Eggeler, Nanoindentation of pseudoelastic NiTi containing Ni<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub> precipitates, *Int. J. Mat. Res.*, 103 (2012) pp. 1434-1439

J. Zhang, C. Somsen, T. Simon, X. Ding, S. Hou, S. Ren, X. Ren, G. Eggeler, K. Otsuka, J. Sun, Leaf-like dislocation substructures and the decrease of martensitic start temperatures: A new explanation for functional fatigue during thermally induced martensitic transformations in coarse-grained Ni-rich Ti-Ni shape memory alloys, *Acta Mater.*, 60 (2012) pp. 1999-2006

Z.H. Zhang, C. Zhang, Y.L. Gao, J. Frenzel, J.Z. Sun, G. Eggeler, Dealloying strategy to fabricate ultrafine nanoporous gold-based alloys with high structural stability and tunable magnetic properties, *Cryst. Eng. Comm.*, 14 (2012) pp. 8292-8300

**2013:** L. Agudo Jácome, P. Nörtershäuser, J.-K. Heyer, A. Lahni, J. Frenzel, A. Dlouhý, C. Somsen, G. Eggeler, High-temperature low-stress creep anisotropy of single-crystal superalloys, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 2926-2943

A.M.S. Chowdhury, C. Schmidt, K. Neuking, G. Eggeler, Comparative studies on the accumulation and strain and recovery ratio of Veriflex (V), a shape-memory polymer: infrared and laser experiments, *High Performance Polymers*, 25 (2013) pp. 886-893

E. Ewerlin, O. Petravic, D. Demirbas, L. Agudo Jácome, G. Eggeler, F. Brüßing, R. Abrudan, H. Zabel, Shift of the blocking temperature of Co nanoparticles by Cr capping, *J. Appl. Phys.*, 114 233908 (2013) pp. 1-6

- S.M. Hafez Haghghat, G. Eggeler, D. Raabe, Effect of climb on dislocation mechanisms and creep rates in  $\gamma'$ -strengthened Ni base super alloy single crystals: A discrete dislocation dynamics study, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 3709-3723
- R. Kazakeviciute-Makovska, S. Mogharebi, H. Steeb, G. Eggeler, K. Neuking, A critical assessment of experimental methods for determining the dynamic mechanical characteristics of shape memory polymers, *Adv. Eng. Mat.*, 15 (2013) pp.732-739
- A. Ludwig, L. Agudo Jácome, G. Eggeler, A. Ludwig, A.D. Wieck, O. Petravic, Interaction effects and properties of Pt capped Co nanoparticles, *J. Appl. Phys.*, 113 (2013) article number: 43917
- T. Habijan, C. Haberland, H. Meier, J. Frenzel, J. Wittsiepe, C. Wuwer, C. Greulich, T.A. Schildhauer, M. Köller, The biocompatibility of dense and porous Nickel–Titanium produced by selective laser melting, *Mater. Sci. Eng. C*, 33 (2013) pp. 419-426
- G. Maier, H. Riedel, B. Nieweg, C. Somsen, G. Eggeler, J. Kloewer, R. Mohrmann, Cyclic deformation and lifetime of Alloy 617B during thermo-mechanical fatigue, *Materials at High Temperatures*, 30 (2013) pp. 27-35
- G. Maier, H. Riedel, C. Somsen, Cyclic deformation and lifetime of alloy 617B during isothermal low cycle fatigue, *Int. J. Fatigue*, 55 (2013) pp. 126-135
- S. Manchuraju, A. Kroeger, C. Somsen, A. Dlouhý, G. Eggeler, P.M. Sarosi, P.M. Anderson, M.J. Mills, Pseudoelastic deformation and size effects during in situ transmission electron microscopy tensile testing, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 2770-2777
- S. Mogharebi, R. Kazakeviciute-Makovska, H. Steeb, G. Eggeler, K. Neuking, On the cyclic stability of shape memory polymers, *Mat.wiss. Werkstofftechn.*, 44 (2013) pp. 521-526
- L. Neelakantan, J.K. Zglinski, M. Frotscher, G. Eggeler, Design and fabrication of a bending rotation fatigue test rig for in situ electrochemical analysis during fatigue testing of NiTi shape memory alloy wires, *Rev. Sci. Instr.*, 84 (2013) article number: 035102
- J. Olbricht, A. Yawny, J.L. Pelegrina, G. Eggeler, V.A. Yardley, Characteristics of the stress-induced formation of R-phase in ultrafine-grained NiTi shape memory wire, *J. Alloys Compounds*, 579 (2013) pp. 249-252
- F. Otto, A. Dlouhý, C. Somsen, H. Bei, G. Eggeler, E.P. George, The influences of temperature and microstructure on the tensile properties of a CoCrFeMnNi high-entropy alloy, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 5743-5755
- J. Pfetzinger-Micklich, C. Somsen, A. Dlouhý, C. Begau, A. Hartmaier, M.F.-X. Wagner, G. Eggeler, On the crystallographic anisotropy of nanoindentation in pseudoelastic NiTi, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 602-616
- M. Rahim, J. Frenzel, M. Frotscher, J. Pfetzinger-Micklich, R. Steegmüller, M. Wohlschlägel, H. Mughrabi, G. Eggeler, Impurity levels and fatigue lives of pseudoelastic NiTi shape memory alloys, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 3667-3686



**Bild 13.4:** Autoren des 2013er Otto-High-Entropy-Papers, das im Berichtszeitraum fast 1000-mal zitiert wurde (2.v.r.: Frederik Otto). **Fig. 13.4:** Authors of the 2013 Otto-high-entropy-paper, with close to 1000 citations in the reporting period (second from right: Frederik Otto).

M. Rahim, J. Frenzel, M. Frotscher, B. Heuwer, J. Hiebeler, G. Eggeler, Bending rotation HCF testing of pseudoelastic Ni-Ti shape memory alloys, *Matwiss. Werkstofftechn.*, 44 (2013) pp. 633-640

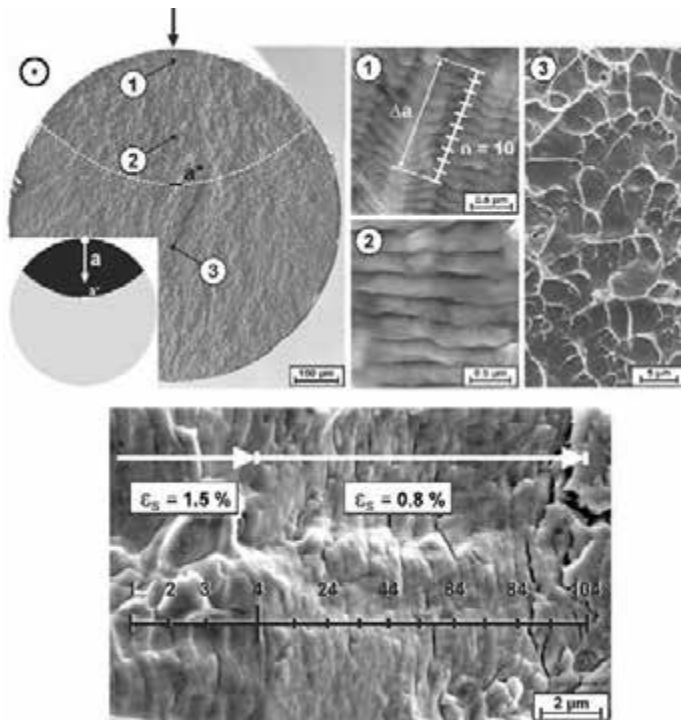
C. Rynio, H. Hattendorf, J. Klöwer, H.G. Lüdecke, G. Eggeler, High temperature wear testing of a Ni-based superalloy pin on a cast iron disk, *Matwiss. Werkstofftechn.*, 44 (2013) pp. 825-831

H. Zheng, W. Wang, S. Xue, Q. Zhai, J. Frenzel, Z. Luo, Composition-dependent crystal structure and martensitic transformation in Heusler Ni-Mn-Sn alloys, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 4648-4656

M.L. Young, S. Gollerthan, A. Baruj, J. Frenzel, W.W. Schmahl, G. Eggeler, Strain mapping of crack extension in pseudoelastic NiTi shape memory alloys during static loading, *Acta Mater.*, 61 (2013) pp. 5800-5806

H.X. Zheng, W. Wang, D.Z. Wu, S.C. Xue, Q.J. Zhai, J. Frenzel, Z.P. Luo, Athermal nature of the martensitic transformation in Heusler alloy Ni-Mn-Sn, *Intermetallics*, 36 (2013) pp. 90-95





**Bild 13.5:** UHCF Risswachstum in jedem Ermüdungszyklus in NiTi (Rahim et al, 2013).

**Fig. 13.5:** Cycle by cycle UHCF crack growth in NiTi (Rahim et al., 2013)

**2014:** L. Agudo Jácome, P. Nörtershäuser, C. Somsen, A. Dlouhý, G. Eggeler, On the nature of  $\gamma'$ -phase cutting and its effect on high temperature and low stress creep anisotropy of Ni-base single crystal superalloys, *Acta Mater.*, 69 (2014) pp. 246-264

L.M. Chew, P. Kangvansura, H. Ruland, H.J. Schulte, C. Somsen, W. Xia, G. Eggeler, A. Worayingyong, M. Muhler, Effect of nitrogen doping on the reducibility, activity and selectivity of carbon nanotube-supported iron catalysts applied in CO<sub>2</sub> hydrogenation, *Appl. Catalysis A: General*, 482 (2014) pp. 163-170

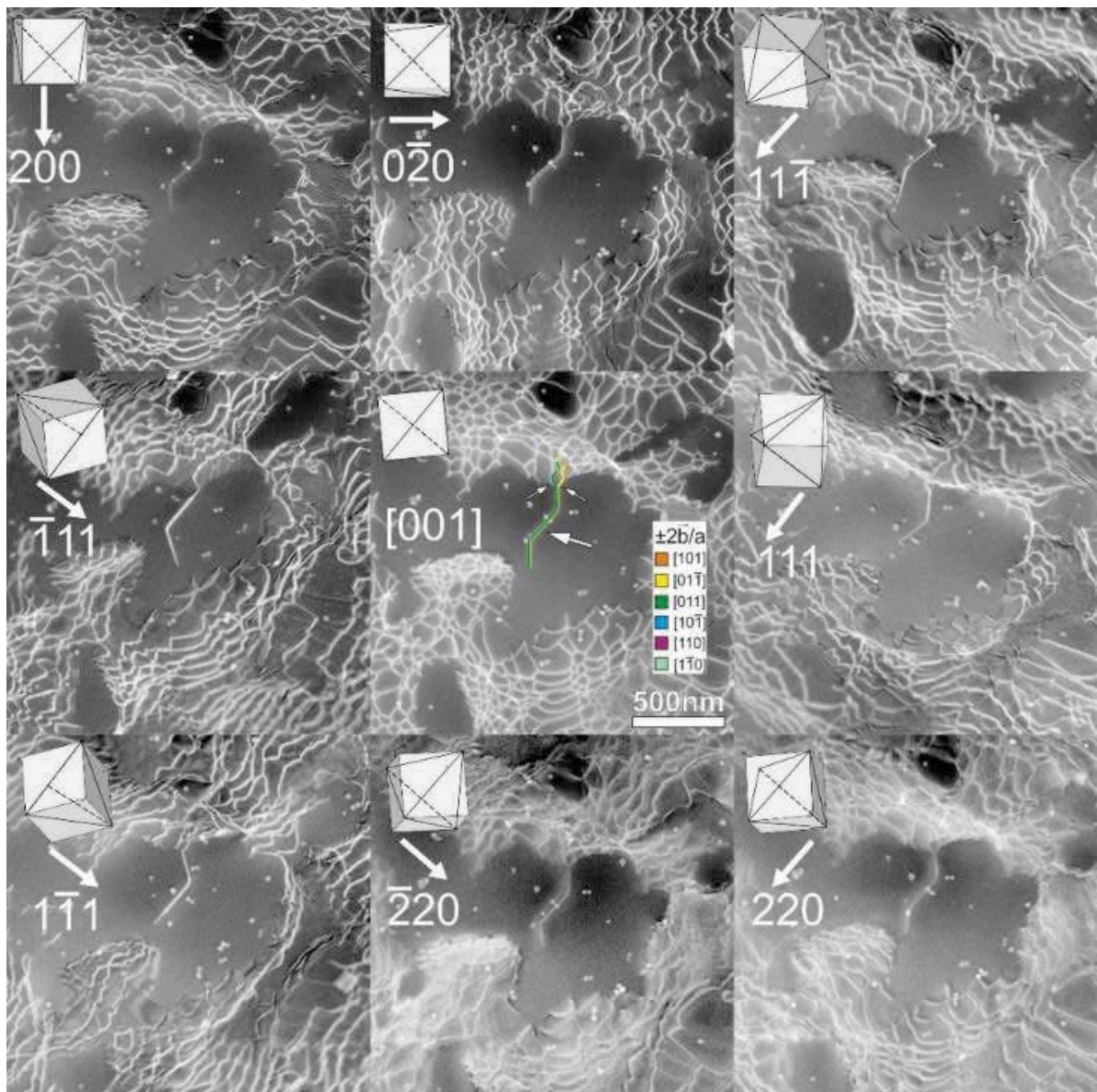
A.M.S. Chowdhury, C. Schmidt, K. Neuking, G. Eggeler, Comparative studies on the accumulation of strain and recovery ratio of Veriflex, a shape memory polymer for high strain; Atomic force microscopy measurements, *High Perf. Polymers*, 26 (2014) pp. 20-26

T. Depka, C. Somsen, G. Eggeler, D. Mukherji, J. Rösler, Sigma phase evolution in Co-Re-Cr-based alloys at 1100°C, *Intermetallics*, 48 (2014) pp. 54-61

C. Ebbert, N. Alissawi, C. Somsen, G. Eggeler, T. Strunskus, F. Faupel, G. Grundmeier, Spectroelectrochemical and morphological studies of the ageing of silver nanoparticles embedded in ultra-thin perfluorinated sputter deposited films, *Thin Solid Films*, 571 (2014) pp. 161-167

C. Haberland, M. Elahinia, J.M. Walker, H. Meier, J. Frenzel, On the development of high quality NiTi shape memory and pseudoelastic parts by additive manufacturing, *Smart Materials and Structures*, 23 (2014) article number: 104002

J.-K. Heyer, S. Brinckmann, J. Pfetzinger-Micklich, G. Eggeler, Micro shear deformation of gold single crystals, *Acta Mater.*, 62 (2014) pp. 225-238



**Bild 13.6:** TEM Kippexperimente zur Analyse von Schneidprozessen der  $\gamma'$ -Phase in einkristallinen Ni-Basis Superlegierungen, Agudo Jácome et al., 2014. **Fig. 13.6:** TEM tilt experiments to identify dislocations configurations associated with cutting of the  $\gamma'$ -phase of Ni-base superalloy single crystals, Agudo Jácome et al., 2014.

M.I. Isik, A. Kostka, G. Eggeler, On the nucleation of Laves phase particles during high-temperature exposure and creep of tempered martensite ferritic steels, *Acta Mater.*, 81 (2014) pp. 230-240

A. Janghorban, J. Petzing-Micklich, J. Frenzel, A. Ludwig, Investigation of the thin-film phase diagram of the Cr-Ni-Re system by high throughput experimentation, *Adv. Eng. Mat.*, 16 (2014) pp. 588-593

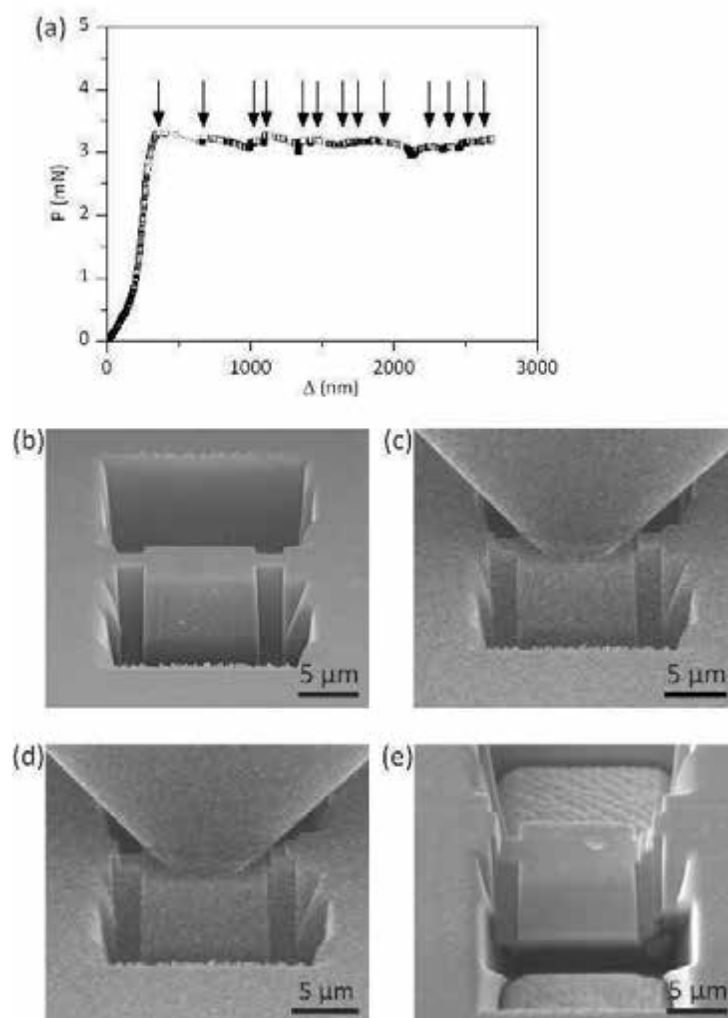
E. Kassab, L. Neelakantan, M. Frotscher, S. Swaminathan, B. Maaß, M. Rohwerder, J. Gomes, G. Eggeler, Effect of ternary element additions on the corrosion behavior of NiTi shape memory alloys, *Mat. Corrosion*, 65 (2014) pp. 18-22

E. Kassab, A. Marquardt, L. Neelakantan, M. Frotscher, F. Schreiber, T. Gries, S. Jockenhoevel, J. Gomes, G. Eggeler, On the electropolishing of NiTi braided stents – challenges and solutions, *Matwiss. Werkstofftechn.*, 45 (2014) pp. 920-929

D. König, J. Pfetzinger-Micklich, J. Frenzel, A. Ludwig, Investigation of ternary subsystems by thin-film combinatorial synthesis and high-throughput analysis, *Eurosuperalloys 2014, MATEC Web of Conferences*, 14 (2014) article number: 18002

P. Krooss, M.J. Holzweissig, T. Niendorf, C. Somsen, M. Schaper, Y.I. Chumlyakov, H.J. Maier, Thermal cycling behavior of an aged FeNiCoAlTa single-crystal shape memory alloy, *Scripta Mater.*, 81 (2014) pp. 28-31

T.Y. Kou, C.H. Si, Y.L. Gao, J. Frenzel, H. Wang, X.J. Yan, Q.G. Bai, G. Eggeler, Z.H. Zhang, Large-scale synthesis and catalytic activity of nanoporous Cu-O system towards CO oxidation, *RSC advances*, 4 (2014) pp. 65004-65011



**Bild 13.7:** Jenna Heyer: In-situ Mikroscherversuch an einem Gold-Einkristall.

**Fig. 13.7:** Jenna Heyer: In-situ SEM micro shear testing of Au single crystals.

P. Krooss, C. Somsen, T. Niendorf, M. Schaper, I. Karaman, Y. Chumlyakov, G. Eggeler, H.J. Maier, Cyclic degradation mechanism in aged FeNiCoAlTa shape memory single crystals, *Acta Mater.*, 79 (2014) pp. 126-137



G. Laplanche, J. Pfetzinger-Micklich, G. Eggeler, Orientation dependence of stress-induced martensite formation during nanoindentation in NiTi shape memory alloys, *Acta Mater.*, 68 (2014) pp. 19-31

G. Laplanche, J. Pfetzinger-Micklich, G. Eggeler, Sudden stress-induced transformation events during nanoindentation of NiTi shape memory alloys, *Acta Mater.*, 78 (2014) pp. 144-160

G. Laplanche, J. Bonneville, A. Joulain, V. Gauthier-Brunet, S. Dubois, Mechanical properties of Al-Cu-Fe quasicrystalline and crystalline phases: An analogy, *Intermetallics*, 50 (2014) pp. 54-58

A.M. Matz, B.S. Mocker, D.W. Müller, N. Jost, G. Eggeler, Mesostructural design and manufacturing of open-pore metal foams by investment casting, *Adv. Mat. Sci. Eng.*, (2014) article number: 421729

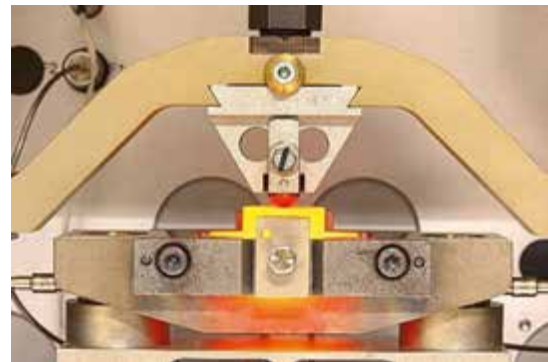
T. Niendorf, P. Krooß, E. Batyrsina, A. Paulsen, J. Frenzel, G. Eggeler, H.J. Maier, On the functional degradation of binary titanium-tantalum high-temperature shape memory alloys – A new concept for fatigue life extension, *Functional Materials Letters*, 7 (2014) article number: 14500428

S. Pal, S.R. Valentin, N. Kukharchyk, H. Nong, A.B. Parsa, G. Eggeler, A. Ludwig, N. Jukam, A.D. Wieck, Infrared transmission spectroscopy of charge carriers in self-assembled InAs quantum dots under surface electric fields, *J. Physics: Condensed Matter*, 26 (2014) article number: 505801

J. Pfetzinger-Micklich, N. Wiczorek, T. Simon, B. Maass, G. Eggeler, Direct microstructural evidence for the stress induced formation of martensite during nanoindentation of NiTi, *Mat. Sci. Eng. A*, 591 (2014) pp. 33-37

C. Rynio, H. Hattendorf, J. Klöwer, G. Eggeler, The evolution of tribo layers during high temperature sliding wear, *Wear*, 315 (2014) pp. 1-10

C. Rynio, H. Hattendorf, J. Klöwer, G. Eggeler, On the physical nature of wear debris after sliding wear in a superalloy/steel tribo system at 25 and 300 °C, *Wear*, 315 (2014) pp. 26-38



**Bild 13.8:** Hochtemperaturverschleiß. Links: Christopher Rynio und Alireza Basir Parsa. Rechts: Hochtemperaturverschleißapparat. **Fig. 13.8:** High-temperature wear. Left: Christopher Rynio und Alireza Basir Parsa. Right: High-temperature wear test rig.

H. Shi, J. Frenzel, G.T. Martinez, S. Van Rompaey, A. Bakulin, S. Kulkova, S. Van Aert, D. Schryvers, Site occupation of Nb atoms in ternary Ni-Ti-Nb shape memory alloys, *Acta Mater.*, 74 (2014) pp. 85-95

J. Ullrich, M. Schmidt, A. Schütze, A. Wiczorek, J. Frenzel, G. Eggeler, S. Seelecke, Proc. of the ASME 2014 Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, 2014, Proceedings Vol. 2, article number: V002T02A013

M. Voese, F. Otto, B. Fedelich, G. Eggeler, Micromechanical investigations and modelling of a copper-antimony-alloy under creep conditions, *Mechanics of Materials*, 69 (2014) pp. 41-62

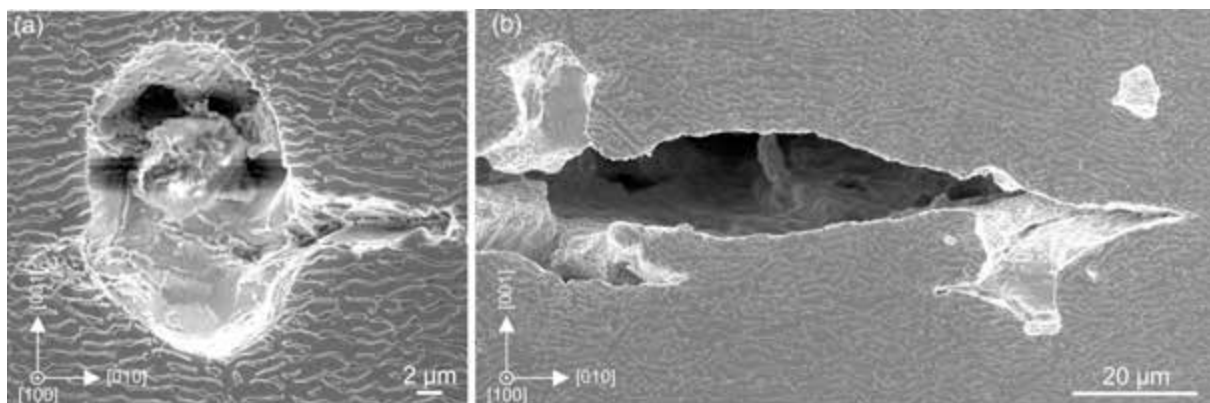
M. Vöse, B. Fedelich, F. Otto, G. Eggeler, Micromechanical modeling of creep damage in a copper antimony alloy, Proc. 20<sup>th</sup> European Conference on Fracture, Science, Editors: Z. Zhang, B. Skallerud, C. Ostby, J. He, *Procedia Materials Science*, 3 (2014) pp. 21-26

J. Zhang, R. Rynko, J. Frenzel, C. Somsen, G. Eggeler, Ingot metallurgy and microstructural characterization of Ti-Ta alloys, *Int. J. Mat. Research*, 105 (2014) pp. 156-167

J. Zuo, J. Rao, G. Eggeler, Interface reactions of Ag / TiO<sub>2</sub> nanocomposite films, *Materials Chemistry and Physics*, 145 (2014) pp. 90-98

**2015:** R. Böckmann, P. Schön, K. Neuking, J. Meyns, P. Kessler, G. Eggeler, In vitro comparison of the sagittal split osteotomy with and without inferior border osteotomy, *J. Oral Maxillofacial Surg.*, 73 (2015) pp. 316-323

H. Buck, P. Wollgramm, A.B. Parsa, G. Eggeler, A quantitative metallographic assessment of the evolution of porosity during processing and creep in single crystal superalloys, *Matwiss. Werkstofftech.*, 46 (2015) pp. 577-590



**Bild 13.9:** Mikrorisse an Poren in einkristallinen Superlegierungen, Buck et al. 2015.

*Fig. 13.9: Micro cracks at pores in single crystal superalloys, Buck et al. 2015.*

X.T. Chen, C.H. Chi, Y.L. Gao, J. Frenzel, J.Z. Sun, G. Eggeler, Z.H. Zhang, Multi-component nano porous platinum-ruthenium-copper-osmium-iridium alloy with enhanced electrolytic activity towards methanol oxidation and oxygen reduction, *J. Power Sources*, 273 (2015) pp. 324-332

- K. Demtröder, G. Eggeler, J. Schreuer, Influence of microstructure on macroscopic elastic properties and thermal expansion of nickel-base superalloys ERBO/1 and LEK 94, *Matwiss. Werkstofftech.*, 46 (2015) pp. 563-576
- C. Dong, H. Zhong, T. Kou, J. Frenzel, G. Eggeler, Z. Zhang, Three-dimensional Cu foam-supported single crystalline Cu<sub>2</sub>O nano thorn arrays for ultra-highly sensitive and efficient non enzymatic detection of glucose, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 7 (2015) pp. 20215-20223
- J. Frenzel, A. Wiczorek, I. Opahle, B. Maaß, R. Drautz, G. Eggeler, On the effect of alloy composition on martensite start temperatures and latent heats in NiTi based shape memory alloys, *Acta Mater.*, 90 (2015) pp. 213-231
- M.I. Isik, A. Kostka, Y.A. Yardley, K.G. Pradeep, M.J. Duarte, P.P. Choi, D. Raabe, G. Eggeler, The nucleation of Mo-rich Laves phase particles adjacent to M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> micro grain boundary carbides in 12% Cr tempered martensite ferritic steels, *Acta Mater.*, 90 (2015) pp. 94-105
- S. Jaeger, B. Maaß, J. Frenzel, M. Schmidt, J. Ulrich, S. Seelecke, A. Schütze, O. Kastner, G. Eggeler, On the widths of the hystereses of mechanically and thermally induced martensitic transformations in NiTi-based shape memory alloys, *Int. J. Mat. Research*, pp. 106 (2015) 1029-1039
- S. Jaeger, G. Eggeler, O. Kastner, Modelling thermally induced martensitic transformations in nickel titanium shape memory alloys, *Continuum Mech. Thermodyn.*, 27 (2015) pp. 461-481
- P. Junker, S. Jaeger, O. Kastner, G. Eggeler, K. Hackl, Variational prediction of the mechanical behavior of shape memory alloys based on thermal experiments, *J. Mech. Phys. Solids*, 80 (2015) pp. 86-102
- P. Krooss, T. Niendorf, P.M. Kadletz, C. Somsen, M.J. Gutmann, Y.I. Chumlyakov, W.W. Schmahl, G. Eggeler, H.J. Maier, Functional fatigue and tension-compression asymmetry in [001]-oriented Co<sub>49</sub>Ni<sub>21</sub>Ga<sub>30</sub> high-temperature shape memory alloy single crystals, *Shape Mem. Superelast.*, 1 (2015) pp. 6-17
- G. Laplanche, P. Gadaud, O. Horst, F. Otto, G. Eggeler, E.P. George, Temperature dependence of elastic moduli and thermal expansion coefficient of an equiatomic, single-phase CoCrFeMnNi high-entropy alloy, *J. Alloys Compounds*, 623 (2015) pp. 348-353
- G. Laplanche, O. Horst, G. Eggeler, E.P. George, Microstructure evolution of a CoCrFeMnNi high-entropy alloy after swaging and annealing, *J. Alloys Compounds*, 647 (2015) pp. 548-557
- G. Laplanche, A. Kazuch, G. Eggeler, Processing of NiTi shape memory sheets – Microstructural heterogeneity and evolution of texture, *J. Alloys Compounds*, 651 (2015) pp. 333-339
- Y. Motemani, P.M. Kadletz, B. Maier, R. Rynko, C. Somsen, A. Paulsen, J. Frenzel, W.W. Schmahl, G. Eggeler, A. Ludwig, Microstructure, Shape memory effect and functional stability of Ti<sub>67</sub>Ta<sub>33</sub> thin films, *Adv. Eng. Mat.*, 17 (2015) pp. 1425-1433

J. Müller, G. Eggeler, E. Spiecker, On the identification of super dislocations in the  $\gamma'$ -phase of single crystal superalloys – an application of the LACBED method to complex microstructures, *Acta Mater.*, 87 (2015) pp. 34-44

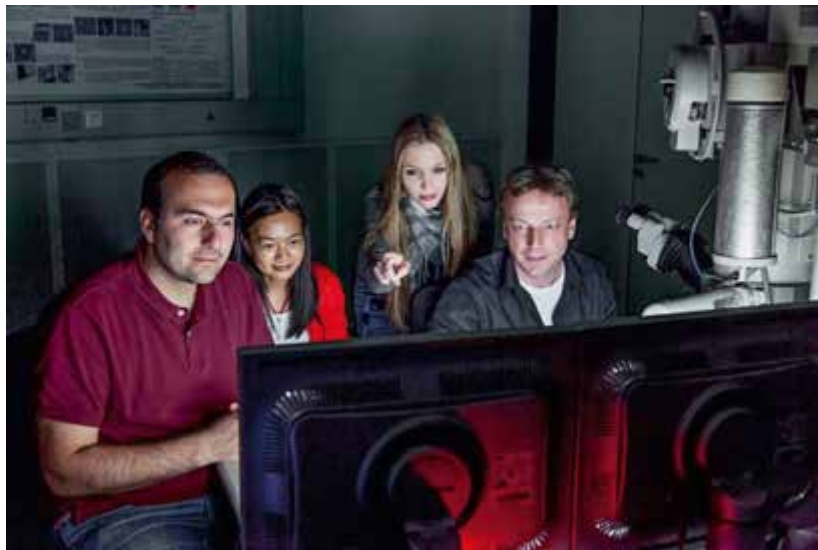
T. Niendorf, P. Krooß, C. Somsen, G. Eggeler, Y.I. Chumlyakov, H.J. Maier, Martensite aging – Avenue to new high temperature shape memory alloys, *Acta Mater.*, 89 (2015) pp. 298-304

T. Niendorf, P. Krooß, C. Somsen, R. Rynko, A. Paulsen, B. Batyrshina, J. Frenzel, G. Eggeler, H.J. Maier, Cyclic degradation of TiTa high-temperature shape memory alloys – The role of dislocation activity and chemical decomposition, *Funct. Mat. Letters*, 8 (2015) article number: 1550062

T. Niendorf, P. Krooß, E. Batyrsina, A. Paulsen, Y. Motemani, A. Ludwig, P. Buenconsejo, J. Frenzel, G. Eggeler, H.J. Maier, Functional and structural fatigue of titanium tantalum high temperature shape memory alloys (HT SMAs), *Mat. Sci. Eng. A*, 620 (2015) pp. 359-366

P. Nörtershäuser, J. Frenzel, A. Ludwig, K. Neuking, G. Eggeler, The effect of cast microstructure on rafting, dislocation plasticity and creep anisotropy of single crystal superalloys, *Mat. Sci. Eng. A*, 626 (2015) pp. 305-312

A.B. Parsa, P. Wollgramm, H. Buck, A. Kostka, C. Somsen, A. Dlouhý, G. Eggeler, Ledges and grooves at  $\gamma/\gamma'$  interfaces of single crystal superalloys, *Acta Mater.*, 90 (2015) pp. 105-117



**Bild 13.10:** Promotionen mit Schwerpunkt TEM in der Somsen-Gruppe (Alireza Basir Parsa, Xiaoxiang Wu und Ramona Rynko, Christoph Somsen). **Fig. 13.10:** *Dr.-Ing. Thesis with a focus on TEM in the Somsen group (Alireza Basir Parsa, Xiaoxiang Wu, Ramona Rynko, Christoph Somsen).*

A.B. Parsa, P. Wollgramm, H. Buck, C. Somsen, A. Kostka, I. Povstugar, P.P. Choi, D. Raabe, A. Dlouhý, J. Müller, E. Spiecker, K. Demtröder, J. Schreuer, K. Neuking, G. Eggeler, Advanced scale bridging microstructure analysis of single crystal Ni-base superalloys, *Adv. Eng. Mat.*, 17 (2015) pp. 216-230

J.L. Pelegrina, A. Yawny, J. Olbricht, G. Eggeler, Transformation activity in ultrafine grained pseudoelastic NiTi wires during small amplitude loading/unloading experiments, *J. Alloys Compounds*, 651 (2015) pp. 655-665



H.U. Rehmann, K. Durst, S. Neumeier, A.B. Parsa, A. Kostka, G. Eggeler, M. Göken, Nanoindentation studies of the mechanical properties of the  $\mu$  phase in a creep deformed Re containing nickel-bases superalloy, *Mat. Sci. Eng. A*, 634 (2015) pp. 202-208

R. Rynko, A. Marquardt, A. Paulsen, J. Frenzel, C. Somsen, G. Eggeler, Microstructural evolution in a Ti-Ta high-temperature shape memory alloy during creep, *Int. J. Mater. Res.*, 106 (2015) pp. 331-341

M. Vollmer, P. Krooß, C. Segel, A. Weidner, A. Paulsen, J. Frenzel, M. Schaper, G. Eggeler, H.J. Maier, T. Niendorf, Damage evolution in pseudoelastic Co-Ni-Ga high-temperature shape memory alloys, *J. Alloys Compounds*, 633 (2015) pp. 288-295

P. Wollgramm, H. Buck, K. Neuking, A.B. Parsa, S. Schuwalow, J. Rogal, R. Drautz, G. Eggeler, On the role of Re in the stress and temperature dependence of creep of Ni-base single crystal superalloys, *Mat. Sci. Eng. A*, 628 (2015) pp. 382-395

M. Schmidt, J. Ullrich, A. Wiczorek, J. Frenzel, A. Schütze, G. Eggeler, S. Seelecke, Thermal stabilization of NiTiCuV shape memory alloys – observations during elasto caloric training, *Shape Mem. Superelast.*, 1, 2 (2015) pp. 132-141

X.J. Yan, H.Y. Xiong, Q.G. Bai, J. Frenzel, C.H. Si, X.T. Chen, G. Eggeler, Z.H. Zhang, Atomic layer-by-layer construction of Pd on nanoporous gold via underpotential deposition and displacement reactions, *RSC Advances*, 5 (2015) pp. 19409-19417

W.F. Yang, J.W. Wang, C.H. Si, Z.Q. Peng, J. Frenzel, G. Eggeler, Z.H. Zhang, [001] preferentially-oriented 2D tungsten disulfide nanosheets as anode materials for superior lithium storage, *J. Materials Chemistry*, 3 (2015) pp. 17811-17819

**2016:** T. Birk, S. Biswas, J. Frenzel, G. Eggeler, Twinning-induced elasticity in NiTi shape memory alloys, *Shape Mem. Superelast.*, 2 (2016) pp. 145-159

V. Khalili, J. Khalil-Allafi, C. Sengstock, Y. Motemani, A. Paulsen, J. Frenzel, G. Eggeler, M. Köller, Characterization of mechanical properties of hydroxyapatite-silicon-multi walled carbon nano tube composite coatings synthesized by EPD on NiTi alloys for biomedical applications, *J. Mech. Behavior Biomed. Materials*, 59 (2016) pp. 337-352

V. Khalili, J. Khalil-Allafi, W. Xia, A.B. Parsa, J. Frenzel, C. Somsen, G. Eggeler, Preparing hydroxyapatite-silicon composite suspensions with homogeneous distribution of multi-walled carbon nanotubes for an electrophoretic coating of NiTi bone implant and their effect on the surface morphology, *Appl. Surface Science*, 366 (2016) pp. 158-165

V. Khalili, J. Khalil-Allafi, H. Maleki-Ghaleh, A. Paulsen, J. Frenzel, G. Eggeler, The influence of Si as reactive bonding agent in the electrophoretic coatings of HA-Si-MWCNTs on NiTi alloys, *J. Materials Engineering Performance*, 25 (2016) pp. 390-400

P. Krooss, P.M. Kadletz, C. Somsen, M.J. Gutmann, Y.I. Chumlyakov, W.W. Schmahl, H.J. Maier, T. Niendorf, Cyclic degradation of Co<sub>49</sub>Ni<sub>21</sub>Ga<sub>30</sub> high-temperature shape memory alloy: On the roles of dislocation activity and chemical order, *Shape Mem. Superelast.*, 2 (2016) pp. 37-49

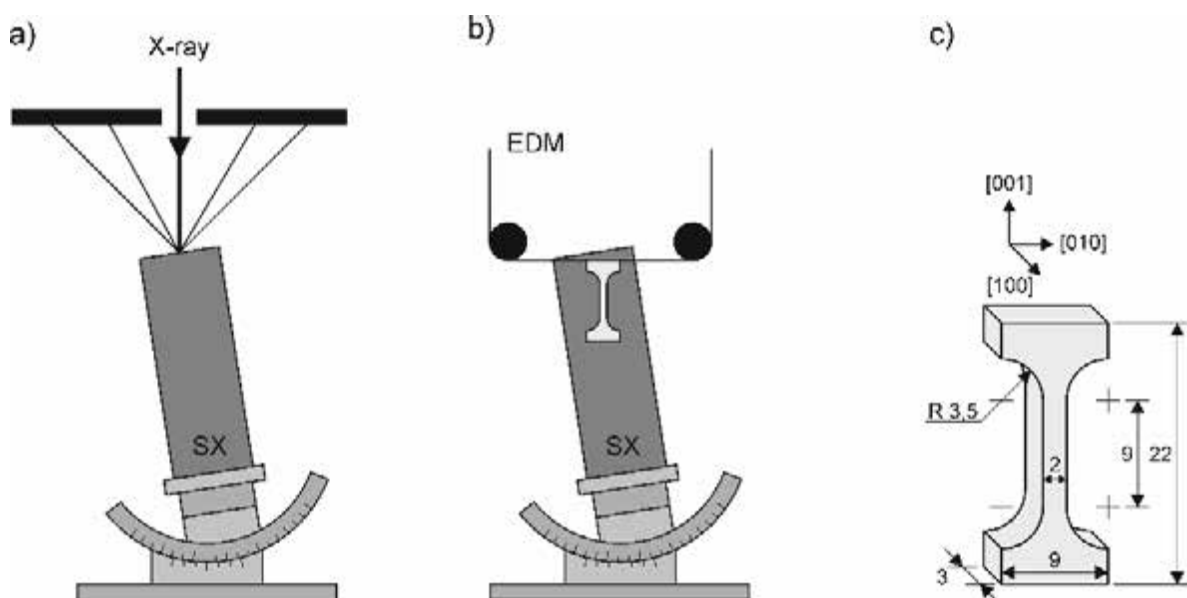
- G. Laplanche, U.F. Volkert, G. Eggeler, E.P. George, Oxidation behavior of the CrMnFeCoNi high-entropy alloy, *Oxidation of Metals*, 85 (2016) pp. 629-645
- G. Laplanche, A. Kostka, O.M. Horst, G. Eggeler, E.P. George, Microstructure evolution and critical stress for twinning in the CrMnFeCoNi high entropy alloy, *Acta Mater.*, 118 (2016) pp. 152-163
- G. Laplanche, J. Bonneville, A. Joulain, V. Gauthier-Brunet, S. Dubois, Plasticity of the omega-Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe phase, *J. Alloys Compounds*, 665 (2016) pp. 144-151
- A. Marquardt, S. Mogharebi, K. Neuking, F. Varnik, G. Eggeler, Diffusion of small molecules in a shape memory polymer, *J. Mater. Sci.*, 51 (2016) pp. 9792-9804
- J. Masa, P. Weide, D. Peeters, I. Sinev, W. Xia, Z.Y. Sun, C. Somsen, M. Muhler, W. Schuhmann, Amorphous cobalt boride as a highly efficient nonprecious catalyst for electrochemical water splitting: oxygen and hydrogen evolution, *Adv. Energy Materials*, 6 (2016) article number: 1502313
- Y. Motemani, C. Khare, A. Savan, M. Hans, A. Paulsen, J. Frenzel, C. Somsen, F. Mücklich, G. Eggeler, A. Ludwig, Nanostructured Ti-Ta films synthesized by combinatorial glancing angle sputter deposition, *Nanotechnology*, 27 (2016) article number: 495604
- F. Otto, A. Dlouhý, K.G. Pradeep, M. Kubenova, D. Raabe, G. Eggeler, E.P. George, Decomposition of the single-phase high-entropy alloy CrMnFeCoNi after prolonged anneals at intermediate temperatures, *Acta Mater.*, 112 (2016) pp. 40-52
- A.B. Parsa, M. Ramsperger, A. Kostka, C. Somsen, C. Körner, G. Eggeler, Transmission electron microscopy of a CMSX-4 Ni-base superalloy produced by selective electron beam melting, *Metals*, 6 (2016) article number: 258
- L.M. Roncery, I. Lopez-Galilea, B. Ruttart, D. Bürger, P. Wollgramm, G. Eggeler, W. Theisen, On the Effect of Hot Isostatic Pressing on the Creep Life of a Single Crystal Superalloy, *Adv. Eng. Mat.*, 18 (2016) pp. 1381-1387
- M. Schmidt, J. Ullrich, A. Wiczorek, J. Frenzel, G. Eggeler, A. Schütze, S. Seelecke, Experimental methods for investigation of shape memory based elastocaloric cooling processes and model validation, *Journal of Visualized Experiments (JoVE)*, 111 (2016) article number: e53626
- M. Schmidt, J. Frenzel, S. Seelecke, J. Ullrich, A. Schütze, A. Wiczorek, G. Eggeler, Elastocaloric cooling with Ni-Ti based alloys – Materials characterization and process variation, *ASME Conf. on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, Proc.*, Vol.1, (2016) ISBN: 978-0-7918-5729-8
- M. Vollmer, P. Krooss, M.J. Krieger, V. Klemm, C. Somsen, H. Ozcan, I. Karaman, A. Weidner, D. Rafaja, H. Biermann, T. Niendorf, Cyclic degradation in bamboo-like Fe-Mn-Al-Ni shape memory alloys - The role of grain orientation, *Scripta Mater.*, 114 (2016) pp. 156-160
- N. Wiczorek, G. Laplanche, J.-K. Heyer, A.B. Parsa, J. Pfetzinger-Micklich, G. Eggeler, Assessment of strain hardening in copper single crystals using in situ SEM microshear experiments, *Acta Mater.*, 113 (2016) pp. 320-334

P. Wollgramm, D. Bürger, A.B. Parsa, K. Neuking, G. Eggeler, The effect of stress, temperature and loading direction on the creep behavior of Ni-based single crystal superalloy miniature tensile specimens, *Materials at High Temperatures*, 33 (2016) pp. 346-360

P. Wollgramm, X. Wu, G. Eggeler, On the temperature dependence of creep behavior of Ni-base superalloy single crystals, in: *Superalloys 2016: Proceedings of the 13th International Symposium on Superalloys*, Edited: Mark Hardy, Eric Huron, Uwe Glatzel, Brian Griffin, Beth Lewis, Cathie Rae, Venkat Seetharaman and Sammy Tin, TMS, 2016, pp. 711-718

X. Wu, P. Wollgramm, C. Somsen, A. Dlouhý, A. Kostka, G. Eggeler, Double minimum creep of single crystal Ni-base superalloys, *Acta Mater.*, 112 (2016) pp. 242-260

V. Yardley, I. Povstugar, P.P. Choi, D. Raabe, A.B. Parsa, A. Kostka, C. Somsen, A. Dlouhý, K. Neuking, E. George, G. Eggeler, On phase equilibria and the appearance of nanoparticles in the microstructure of single crystal Ni-base superalloys, *Adv. Eng. Mat.*, 18 (2016) pp. 1556-1567



**Bild 13.11:** Herstellung präzise orientierter Mini-kriechproben, Wollgramm et al., 2016.

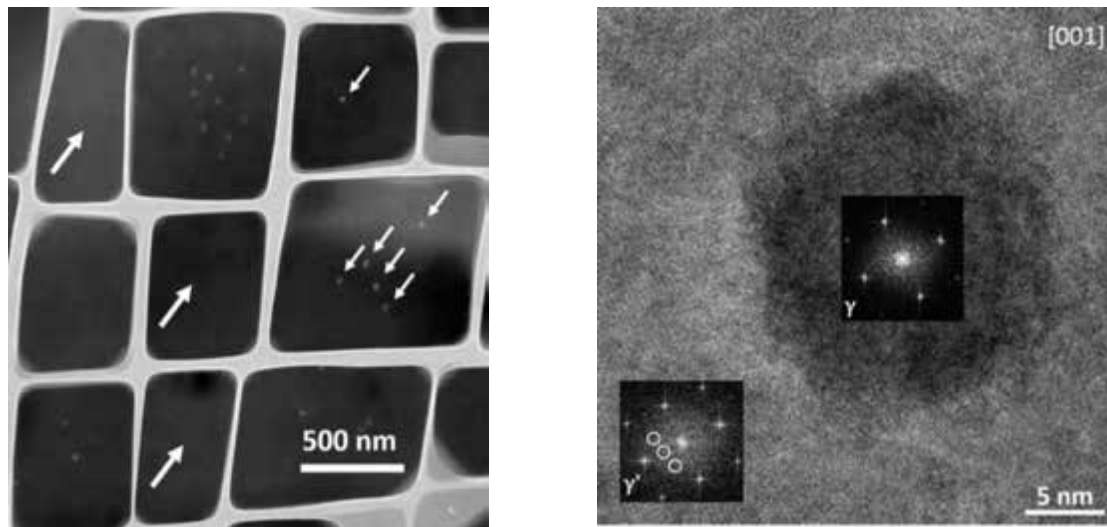
**Fig. 13.11:** *Precisely oriented miniature creep specimens, Wollgramm et al., 2016.*

**2017:** J. Burow, J. Frenzel, C. Somsen, E. Prokofiev, R. Valiev, G. Eggeler, Grain nucleation and growth in deformed NiTi shape memory alloys: An in situ TEM study, *Shape Mem. Superelast.*, 3 (2017) pp. 347-360

P. Decker, D. Naujoks, D. Langenkämper, C. Somsen, A. Ludwig, High-throughput structural and functional characterization of the thin film materials system Ni-Co-Al, *ACS Combinatorial Science*, 19 (2017) pp. 618-624

P. Hallensleben, H. Schaar, P. Thome, N. Jons, A. Jafarizadeh, I. Steinbach, G. Eggeler, J. Frenzel, On the evolution of cast microstructure during processing of single crystal Ni-base superalloys using a Bridgman seed technique, *Materials & Design*, 128 (2017) pp. 98-111

L. Agudo Jácome, G. Göbenli, G. Eggeler, Transmission electron microscopy study of the microstructural evolution during high-temperature and low-stress [01-1](011) shear creep deformation of the superalloy single crystal LEK 94, *J. Mater. Res.*, 32 (2017) pp. 4491-4502



**Bild 13.12:** Entstehung kleiner  $\gamma$ -Teilchen in der  $\gamma'$ -Phase, Basir Parsa et al., 2016.

**Fig. 13.12:** Formation of small  $\gamma$ -particles in the  $\gamma'$ -phase, Basir Parsa et al., 2016.

V. Khalili, J. Khalil-Allafi, J. Frenzel, G. Eggeler, Bioactivity and electrochemical behavior of hydroxyapatite-silicon multi walled carbon nanotubes composite coatings synthesized by EPD on NiTi alloys in simulated body fluid, 71 (2017) pp. 473-482

D. König, P. Frowein, A. Wiczorek, J. Frenzel, S. Hamman, G. Eggeler, A. Ludwig, Composition, constitution and phase transformation behavior in thin-film and bulk Ti-Ni-Y, *Shape Mem. Superelast.*, 3 (2017) pp. 49-56

G. Laplanche, A. Kostka, C. Reinhart, J. Hunfeld, G. Eggeler, E.P. George, Reasons for the superior mechanical properties of medium-entropy CrCoNi compared to high-entropy CrMnFeCoNi, *Acta Mater.*, 128 (2017) pp. 292-303

G. Laplanche, T. Birk, S. Schneider, J. Frenzel, G. Eggeler, Effect of temperature and texture on the reorientation of martensite variants in NiTi shape memory alloys, *Acta Mater.*, 127 (2017) pp. 143-152

E. Mahmoudinezhad, A. Marquardt, G. Eggeler, F. Varnik, Molecular dynamics simulations of entangled polymers: The effect of small molecules on the glass transition temperature, *International Conference on Computational Science, Procedia Computer Science*, 108 (2017) pp. 265-271

H.J. Maier, E. Karsten, A. Paulsen, D. Langenkämper, P. Decker, J. Frenzel, C. Somsen, A. Ludwig, G. Eggeler, T. Niendorf, Microstructural evolution and functional fatigue of a Ti-25Ta high-temperature shape memory alloy, *J. Mat. Res.*, 32 (2017) pp. 4287-4295

D. Naujoks, Y.M. Eggeler, P. Hallensleben, J. Frenzel, S.G. Fries, M. Palumbo, J. Koßmann, T. Hammerschmidt, J. Pfetzinger-Micklich, G. Eggeler, E. Spiecker, R. Drautz, A. Ludwig, Identification of a ternary  $\mu$ -phase in the Co-Ti-W system - An advanced correlative thin-film and bulk combinatorial materials investigation, *Acta Mater.*, 138 (2017) pp. 100-110



B. Ruttert, D. Bürger, P. Wollgramm, L. Mujica Roncery, A.B. Parsa, P. Wollgramm, G. Eggeler, W. Theisen, Rejuvenation of creep resistance of a Ni-base single-crystal superalloy by hot isostatic pressing, *Materials and Design*, 134 (2017) pp. 418-4254



**Bild 13.13:** Jan Frenzel und Felicitas Scholz vor dem Bridgman Ofen für die gerichtete Erstarrung einkristalliner Superlegierungen. **Fig. 13.13:** *Jan Frenzel und Felicitas Scholz in front of the Bridgman furnace for the directional solidification of single crystal superalloys.*

S. Scholz, R. Schott, P.A. Labud, C. Somsen, D. Reuter, A. Ludwig, A.D. Wieck, Focused ion beam supported growth of monocrystalline wurtzite INAS nanowires grown by molecular beam epitaxy, *J. of Crystal Growth*, 470 (2017) pp. 46-50

K.V.S. Thurston, B. Gludovatz, A. Hohenwarter, G. Laplanche, E.P. George, R.O. Ritchie, Effect of temperature on the fatigue-crack growth behaviour of the high-entropy alloy CrMnFeCoNi, *Intermetallics*, 88 (2017) pp. 65-72

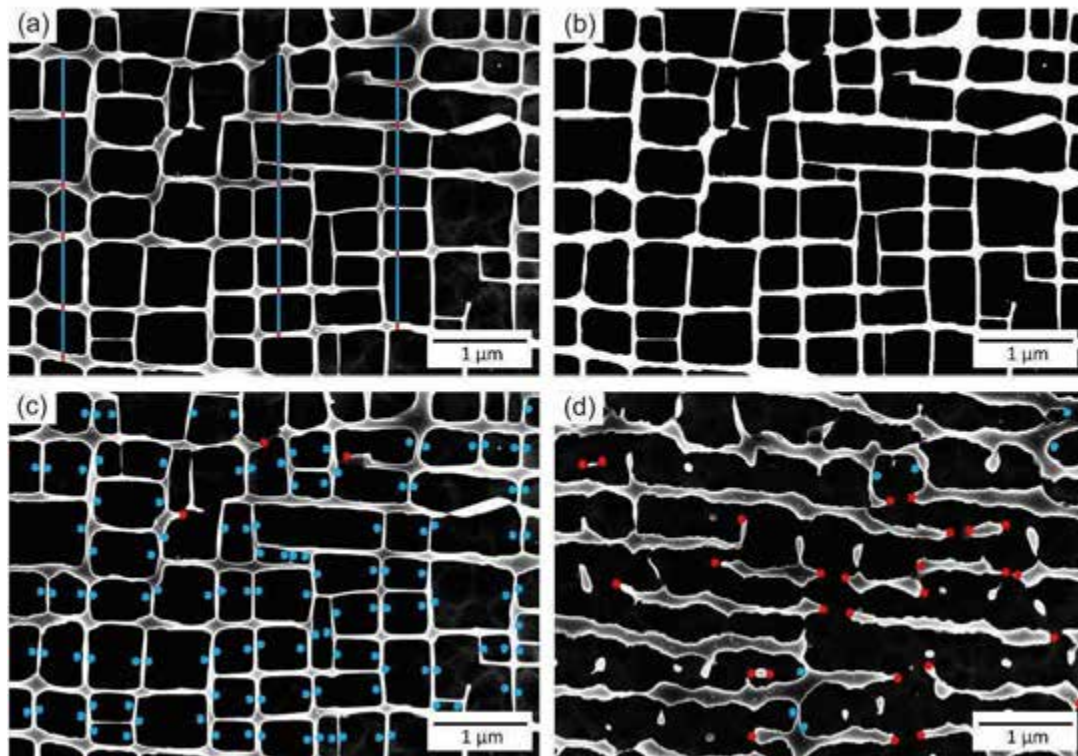
T. Ungar, J. Frenzel S. Gollerthan, G. Ribarik, L. Balogh, G. Eggeler, On the competition between the stress-induced formation of martensite and dislocation plasticity during crack propagation in pseudoelastic NiTi shape memory alloys, *J. Mater. Res.*, 32 (2017) pp. 4433-4442

A. Wiczorek, J. Frenzel, M. Schmidt, B. Maaß, S. Seelecke, A. Schulze, G. Eggeler, Optimizing Ni-Ti-based shape memory alloys for ferroic cooling, *Functional Materials Letters*, 10 (2017) article number: 1740001

X. Wu, A. Dlouhý, P. Wollgramm, C. Somsen, A. Kostka, G. Eggeler, On the early stages of low temperature and high stress creep of single crystal Ni-base superalloys, *JSPS Report of the 123rd Committee on Heat Resisting Materials and Alloys*, Vol. 58 (2017) pp. 259-264

**2018:** L. Cao, D. Bürger, P. Wollgramm, K. Neuking, G. Eggeler, Testing of Ni-base superalloy single crystals with circular notched miniature tensile creep specimens, *Mat. Sci. Eng. A*, 712 (2018) pp. 223-231

L. Cao, P. Wollgramm, D. Bürger, A. Kostka, G. Cailletaud, G. Eggeler, How evolving multiaxial stress states affect the kinetics of rafting during creep of single crystal Ni-base superalloys, *Acta Mater.*, 158 (2018) pp. 381-392



**Bild 13.14:** Vermessung von  $\gamma/\gamma'$ -Mikrostrukturen: Quantitative Metallographie - REM.

*Fig. 13.14: Analysis of  $\gamma/\gamma'$ -microstructure: Quantitative metallography - SEM.*

H. Dobbstein, E.L. Gurevich, E.P. George, A. Ostendorf, G. Laplanche, Laser metal deposition of a refractory TiZrNbHfTa high-entropy alloy, *Additive Manufacturing*, 24 (2018) pp. 386-390

G. Eggeler, N. Wiczorek, F. Fox, S. Berglund, D. Bürger, A. Dlouhý, P. Wollgramm, K. Neuking, J. Schreuer, L. Agudo Jácome, S. Gao, A. Hartmaier, G. Laplanche, On shear testing of single crystal Ni-base superalloys, *Met. Mat. Trans. A*, 49 (2018) pp. 3951-3962

A. Ferrari, A. Paulsen, J. Frenzel, J. Rogal, G. Eggeler, R. Drautz, Unusual composition dependence of transformation temperatures in Ti-Ta-X shape memory alloys, *Phys. Rev. Materials*, 2 (2018) article number: 073609

J. Frenzel, G. Eggeler, E. Quandt, S. Seelecke, M. Kohl, High-performance elastocaloric materials for the engineering of bulk- and micro-cooling devices, *MRS Bulletin*, 43 (2018) pp. 280-284

K. Fushimi, L. Neelakantan, G. Eggeler, A.W. Hassel, On the electro polishing mechanism of NiTi in methanolic sulfuric acid – An electrochemical impedance study, *Phys. Stat. Sol. A*, 215 (2018) article number: 1800011

S. Gao, P. Wollgramm, G. Eggeler, A. Ma, J. Schreuer, A. Hartmaier, A phenomenological creep model for Ni-base single crystal superalloys, *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.*, 26 (2018) article number: 055001 (18 pp)

E. Ghobadi, A. Marquardt, E.M. Zirdehi, K. Neuking, F. Varnik, G. Eggeler, H. Steeb, The influence of water and solvent uptake on functional properties of shape-memory polymers, *Int. J. of Polymer Sciences*, (2018) article number: 7819353

S.Y. Kamata, D. Kanekon, Y.Y. Lu, N. Sekido, K. Maruyama, G. Eggeler, K. Yoshimi, Ultrahigh-temperature tensile creep of TiC-reinforced Mo-Si-B-based alloy, *Scientific Reports*, 8 (2018) article number: 10487

S.M. Kirsch, F. Welsch, N. Michaelis, M. Schmidt, A. Wiczorek, J. Frenzel, G. Eggeler, A. Schütze, S. Seelecke, NiTi-based elastocaloric cooling on the macroscale: From basic concepts to realization, *Energy Technology*, 6 (2018) pp. 1567-1587

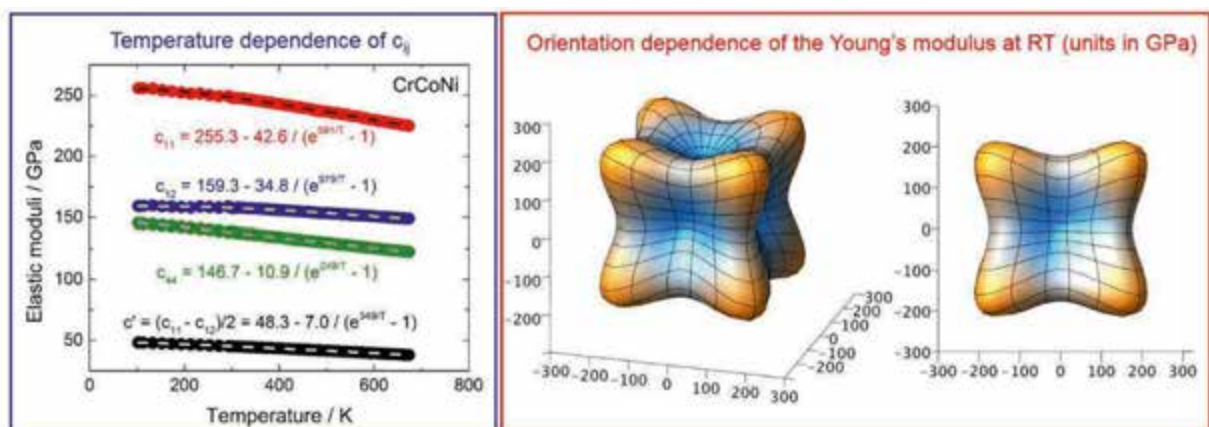
C. Körner, M. Ramsperger, C. Meid, D. Bürger, P. Wollgramm, M. Bartsch, G. Eggeler, Microstructure and mechanical properties of CMSX-4 single crystals prepared by additive manufacturing, *Met. Mat. Trans. A*, 49 (2018) pp. 3781-3792

G. Laplanche, J. Bonneville, C. Varvenne, W.A. Curtin, E.P. George, Thermal activation parameters of plastic flow reveal deformation mechanisms in the CrMnFeCoNi high-entropy alloy, *Acta Mater.*, 143 (2018) pp. 257-264

G. Laplanche, N. Wiczorek, F. Fox, S. Berglund, J. Pfetzinger-Micklich, K. Kishida, H. Inui, G. Eggeler, On the influence of crystallography and dendritic microstructure on micro shear behavior of single crystal Ni-based superalloys, *Acta Mater.*, 160 (2018) pp. 173-184

G. Laplanche, S. Berglund, C. Reinhart, A. Kostka, F. Fox, E.P. George, Phase stability and kinetics of  $\sigma$ -phase precipitation in CrMnFeCoNi high-entropy alloys, *Acta Mater.*, 161 (2018) pp. 338-351

G. Laplanche, P. Gadaud, C. Bärsch, K. Demtröder, C. Reinhart, J. Schreuer, E.P. George, Elastic moduli and thermal expansion coefficients of medium-entropy subsystems of the CrMnFeCoNi high-entropy alloy, *J. Alloys Compounds*, 746 (2018) pp. 244-255



**Bild 13.15:** Orientierungsabhängigkeit des E-Moduls von CrCoNi-Einkristallen (Laplanche HEA-Gruppe). **Fig. 13.15:** Orientation dependence of the elastic modulus in CrCoNi single crystals (Laplanche HEA-group).

C. Lauhoff, P. Krooss, D. Langenkämper, C. Somsen, G. Eggeler, I. Kireeva Y.I. Chumlyakov, T. Niendorf, Martensite aging in <001> oriented Co<sub>49</sub>Ni<sub>21</sub>Ga<sub>30</sub> single crystals in tension, *Functional Materials Letters*, 11 (2018) article number: 1850024

S.K. Makineni, A. Kumar, M. Lenz, P. Kontis, T. Meiners, C.H. Zenk, S. Zaefferer, G. Eggeler, S. Neumeier, D. Raabe, B. Gault, On the diffusive phase transformation mechanism assisted by extended dislocations during of a single crystal Co-Ni-based superalloy, *Acta Mater.*, 155 (2018) pp. 362-371

M. Markl, A. Müller, N. Ritter, M. Hofmeister, D. Naujoks, H. Schaar, K. Abrahams, J. Frenzel, A.P.A. Subramanyam, A. Ludwig, J. Pfetzinger-Micklich, T. Hammerschmidt, R. Drautz, I. Steinbach, R. Rettig, R.F. Singer, C. Körner, Development of single-crystal Ni-based superalloys based on multi-criteria numerical optimization and efficient use of refractory elements, *Met. Mat. Trans. A*, 49 (2018) pp. 4134-4145

A.M. Matz, B.S. Matz, N. Jost, G. Eggeler, On the accumulation of irreversible plastic strain during compression loading of open-pore metallic foams, *Mat. Sci. Eng. A*, 728 (2018) pp. 40-44

S. Medghalchi, V. Jamebozorgi, A.B. Krishnan, S. Vincent, S. Salomon, A.B. Parsa, J. Pfetzinger, A. Kostka, Y.J. Li, G. Eggeler, T. Li, Multiscale characterization of microstructure in near-surface regions of a 16MnCr5 gear wheel after cyclic loading, *JOM*, 70 (2018) pp. 1758-1764

J.L. Pelegrina, J. Olbricht, A. Yawny, G. Eggeler, Temperature-induced transformations and martensitic reorientation processes in ultra-fine-grained Ni-rich pseudoelastic NiTi wires studied by electrical resistance, *J. Alloys Compounds*, 735 (2018) pp. 2574-2583

S. Rezanka, C. Somsen, G. Eggeler, G. Maurer, R. Vassen, O. Guillon, A TEM investigation of columnar-structured thermal barrier coatings deposited by plasma spray physical vapor deposition, *Plasma Chem. Plasma Process.*, 38 (2018) pp. 791-802

B. Ruttert, O. Horst, I. Lopez-Galilea, D. Langenkämper, A. Kostka, C. Somsen, J.V. Goerler, M.A. Ali, O. Shchyglo, I. Steinbach, G. Eggeler, W. Theisen, Rejuvenation of SX Ni-base superalloy turbine blades: Unlimited service life?, *Met Mat Trans A*, 49 (2018) pp. 4262-4273

J. Ševčíková, D. Bártková, M. Goldbergová, M. Kuběnová, J. Čermák, J. Frenzel, A. Weiser, A. Dlouhý, On the Ni-Ion release rate from surfaces of binary NiTi shape memory alloys, *Appl. Surf. Sci.*, 427 (2018) pp. 434-443

H.C. Wang, C. Somsen, G. Eggeler, E. Detemple, Carbide types in an advanced microalloyed bainitic/ferritic Cr-Mo-steel – TEM observations and thermodynamic calculations, *Matwiss. Werkstofftechn.*, 49 (2018) pp. 726-740

H.C. Wang, X. Zhang, D.S. Yan, C. Somsen, G. Eggeler, Interface dominated cooperative nanoprecipitation in interstitial alloys, *Nature Communications*, 9 (2018) article number: 4017

X. Wu, A. Dlouhý, Y.M. Eggeler, E. Spiecker, A. Kostka, C. Somsen, G. Eggeler, On the nucleation of planar faults during low temperature and high stress creep of single crystal Ni-base superalloy, *Acta Mater.*, 144 (2018) pp. 642-655



X. Wu, S.K. Makineni, P. Kontis, G. Dehm, D. Raabe, B. Gault, G. Eggeler, On the segregation of Re at dislocations in the  $\gamma'$ -phase of Ni-based single crystal superalloys, *Materialia*, 4 (2018) pp. 109-114



**Bild 13.16:** Xiaoxiang Wu arbeitet am TEM.

**Fig. 13.16:** Xiaoxiang Wu working at the TEM.

**2019:** D. Bürger, A.B. Parsa, M. Ramsperger, C. Körner, G. Eggeler, Creep properties of single crystal Ni-base superalloys (SX): A comparison between conventionally cast and additive manufactured CMSX-4 materials, *Mat. Sci. Eng. A*, 762 (2019) article number: 138098

H. Dobbstein, E.L. Gurevich, E.P. George, A. Ostendorf, G. Laplanche, Laser metal deposition of compositionally graded TiZrNbTa refractory high-entropy alloys using elemental powder blends, *Additive Manufacturing*, 25 (2019) pp. 252-262

A. Ferrari, P.M. Kadletz, T. Chakraborty, K.Y. Liao, D. Langenkämper, Y. Motemani, A. Paulsen, Y. Lysogorskiy, J. Frenzel, J. Rogal, A. Ludwig, C. Somsen, R. Drautz, W.W. Schmahl, Reconciling experimental and theoretical data in the structural analysis of Ti-Ta shape-memory alloys, *Shape Mem. Superelast.*, 5 (2019) pp. 6-15

A. Ferrari, A. Paulsen, D. Langenkämper, D. Piorunek, C. Somsen, J. Frenzel, J. Rogal, G. Eggeler, R. Drautz, Discovery of omega-free high-temperature Ti-Ta-X shape memory alloys from first principles calculations, *Phys. Rev. Mater.*, (2019) 3 (2019) article number: 103605

P. Hallensleben, F. Scholz, P. Thome, H. Schaar, I. Steinbach, G. Eggeler, J. Frenzel, On crystal mosaicity in single crystal Ni-base superalloys, 2019, *Crystals*, 9 (2019), article number: 149

O.M. Horst, B. Rutttert, D. Bürger, L. Heep, H. Wang, A. Dlouhý, W. Theisen, G. Eggeler, On the rejuvenation of crept Ni-Base single crystal superalloys (SX) by hot isostatic pressing (HIP), *Mat. Sci. Eng. A*, 758 (2019) pp. 202-214

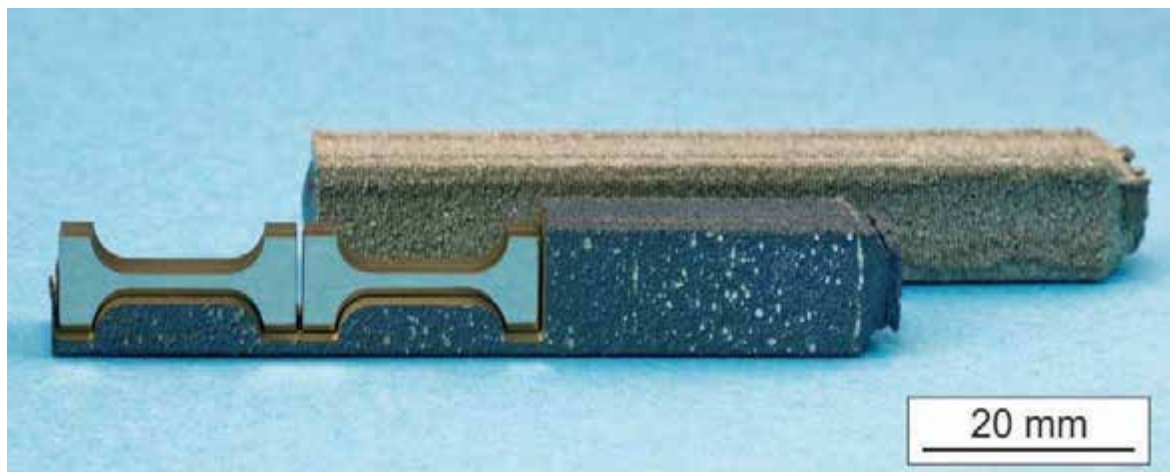
T. Kalfhaus, M. Schneider, B. Ruttert, D. Sebold, T. Hammerschmidt, J. Frenzel, R. Drautz, W. Theisen, G. Eggeler, O. Guillon, R. Vassen, Repair of Ni-based single crystal superalloys using vacuum plasma spraying, *Materials and Design*, 168 (2019) article number: 107656

P. Krooss, C. Lauhoff, D. Langenkämper, A. Paulsen, A. Reul, S. Degener, B. Aminforough, J. Frenzel, C. Somsen, W.W. Schmahl, G. Eggeler, H.J. Maier, T. Niendorf, Impact of heating-cooling rates on the functional properties of Ti-20Ta-5Al high temperature shape memory alloys, *Shape Mem. Superelast.*, 5 (2019) pp. 95-105

S.S. Kumar, L. Marandi, V.K. Balla, S. Bysakh, D. Piorunek, G. Eggeler, M. Das, I. Sen, Microstructure-property correlations for additively manufactured NiTi based shape memory alloys, *Materialia*, 8 (2019) article number: 100456

D. Langenkämper, A. Paulsen, C. Somsen, J. Frenzel, G. Eggeler, On the oxidation behavior and its influence on the martensitic transformation of Ti-Ta high temperature shape memory alloys, *Shape Mem. Superelast.*, 5 (2019) pp. 63-72

G. Laplanche, P. Gadaud, L. Perrière, I. Guillot, J.P. Couzinié, Temperature dependence of elastic moduli in a refractory HfNbTaTiZr high-entropy alloy, *J. Alloys Compounds*, 799 (2019) pp. 538-545



**Bild 13.17:** Minikriechproben können aus kleinen additiv gefertigten SX Probenvolumina entnommen werden, Bürger et al., 2019. **Fig. 13.17:** Miniature creep specimens can be taken out of small additively manufactured superalloy test pieces, Bürger et al., 2019.

C. Lauhoff, A. Reul, D. Langenkämper, P. Krooss, C. Somsen, M.J. Gutmann, I. Kireeva, Y.I. Chumlyakov, W.W. Schmahl, T. Niendorf, Effect of nanometric gamma'-particles on the stress-induced martensitic transformation in  $\langle 001 \rangle$ -oriented  $\text{Co}_{49}\text{Ni}_{21}\text{Ga}_{30}$  shape memory alloy single crystals, *Scripta Mater.*, 168 (2019) pp. 42-46

M. Lenz, Y.M. Eggeler, J. Müller, C.H. Zenk, N. Volz, P. Wollgramm, G. Eggeler, S. Neumeier, M. Goeken, E. Spiecker, Tension/compression asymmetry of a creep deformed single crystal Co-base superalloy, *Acta Mater.*, 166 (2019) pp. 597-610

T. Li, M.J. Lai, A. Kostka, S. Salomon, S.Y. Zhang, C. Somsen, M.S. Dargusch, D. Kent, Composition of the nano sized orthorhombic  $\omega$ -phase and its direct transformation to fine alpha during ageing in metastable beta-Ti alloys, *Scripta Mater.*, 170 (2019) pp. 183-188

X.W. Liu, G. Laplanche, A. Kostka, S.G. Fries, J. Pfetzinger-Micklich, G. Liu, E.P. George, Columnar to equiaxed transition and grain refinement of cast CrCoNi medium-entropy alloy by micro alloying with titanium and carbon, *J. Alloys Compounds*, 775 (2019) pp. 1068-1076

A. Matz, B.S. Matz, A.B. Parsa, N. Jost, G. Eggeler, On the effects of microstructure on the mechanical properties of open-pore Al-11Zn foams, *Mat. Sci. Eng. A*, 759 (2019) pp. 552-564

C. Meid, M. Eggeler, P. Watermeyer, A. Kostka, T. Hammerschmidt, R. Drautz, G. Eggeler, M. Bartsch, Stress-induced formation of TCP phases during high temperature low cycle fatigue loading of the single-crystal Ni-base superalloy ERBO/1, *Acta Mater.*, 168 (2019) pp. 343-352

A.B. Parsa, M. Walter, W. Theisen, D. Bürger, G. Eggeler, On the evolution of dislocation cell structures in two Al-alloys (Al-5Mg and Al-11Zn) during reciprocal sliding wear at high homologous temperatures, *Wear*, 418 (2019) pp. 1-12

A. Paulsen, J. Frenzel, D. Langenkämper, R. Rynko, P. Kadletz, L. Grossmann, W.W. Schmahl, C. Somsen, G. Eggeler, A kinetic study on the on the evolution of martensitic transformation behavior and microstructures in TiTa high temperature shape memory alloys during aging, *Shape Mem. Superelast.*, 5 (2019) pp. 16-31

M. Schneider, F. Werner, D. Langenkämper, C. Reinhart, G. Laplanche, Effect of temperature and texture on Hall-Petch strengthening by grain and annealing twin boundaries in the MnFeNi medium-entropy alloy, *Metals*, 9 (2019) article number: 84

M. Schneider, E.P. George, T.J. Manescau, T. Zalezak, J. Hunfeld, A. Dlouhý, G. Eggeler, G. Laplanche, Benchmark dataset of the effect of grain size on strength in the single-phase fcc CrCoNi medium entropy alloy, *Data in Brief*, 27 (2019) article number: 104592

O. Stryzhyboroda, U. Hecht, V. T. Witusiewicz, G. Laplanche, A. Asabre, M.B. Wilms, A. Weisheit, Precipitation Hardenable High Entropy Alloy for Tooling Applications, *MRS Advances*, 4 (2019) pp. 1427-1433

P. Thome, S. Medghalchi, J. Frenzel, J. Schreuer, G. Eggeler, Ni-base superalloy single crystal (SX) mosaicity characterized by the Rotation Vector Base Line Electron Back Scatter Diffraction (RVB-EBSD) method, *Ultramicroscopy*, 206 (2019) article number: 112817

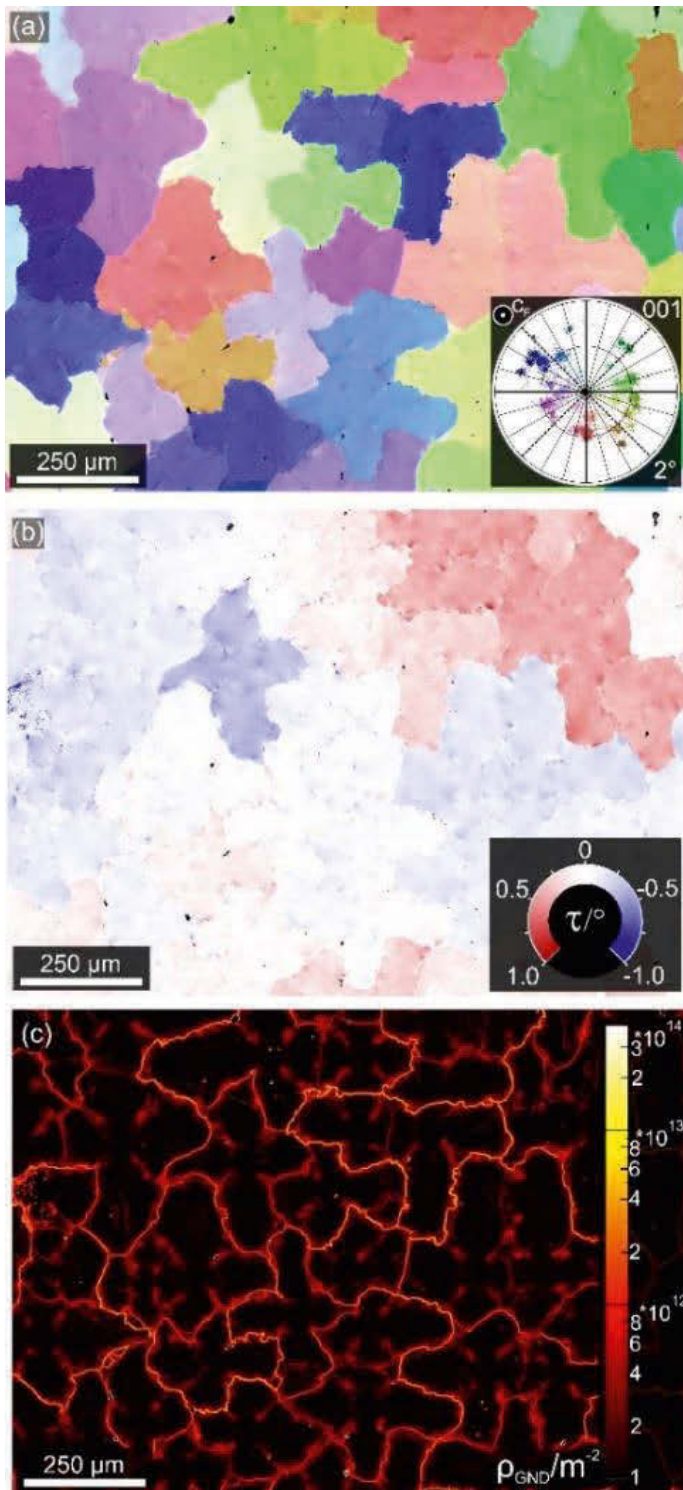
A. Asabre, A. Kostka, O. Stryzhyboroda, J. Pfetzinger-Micklich, U. Hecht, G. Laplanche, Effect of Al, Ti and C additions on Widmanstätten microstructures and mechanical properties of cast Al<sub>0.6</sub>CoCrFeNi compositionally complex alloys, *Materials & Design*, 184 (2019) article number: 108201

K.V.S. Thurston, B. Gludovatz, Q. Yu, G. Laplanche, E.P. George, R.O. Ritchie, Temperature and load-ratio dependent fatigue-crack growth in the CrMnFeCoNi high-entropy alloy, *J. Alloys Compounds*, 794 (2019) pp. 525-533

H.C. Wang, C. Somsen, Y.J. Li, S.G. Fries, E. Detemple, G. Eggeler, Effect of Nb on improving the impact toughness of low-alloyed steels, *J. Mat. Sci.*, 54 (2019) pp. 7307-7321

A. Weiser, V. Buršíková, M. Jarý, P. Dymáček, J. Dugáček, J. Frenzel, J. Čermák, A. Dlouhý, Strength of hydrogen-free and hydrogen-doped Ni<sub>50</sub>Ti<sub>50</sub> shape memory platelets, *Scripta Mater.*, 162 (2019) pp. 151-155

K.V.S. Thurston, A. Hohenwarter, G. Laplanche, E.P. George, B. Gludovatz, R.O. Ritchie, On the onset of deformation twinning in the CrFeMnCoNi high-entropy alloy using a novel tensile specimen geometry, *Intermetallics*, 110 (2019) 106469



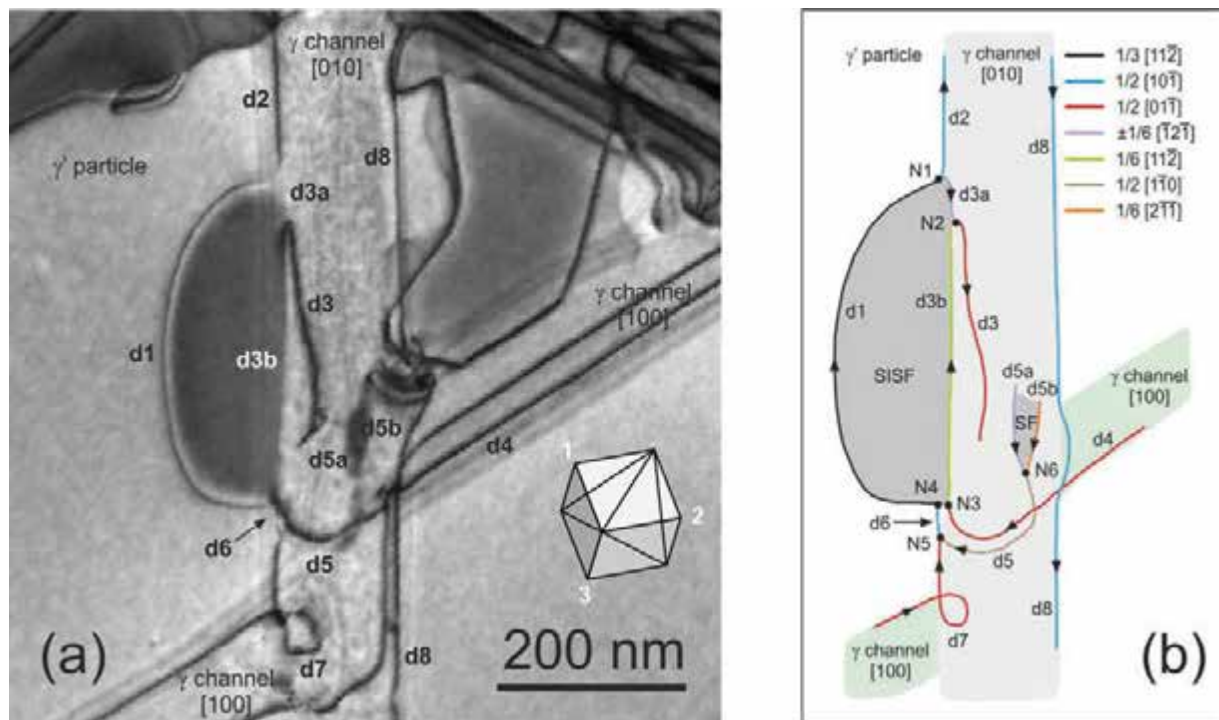
**Bild 13.18:** Ergebnisse, die mit der neuen hochauflösenden EBSD-Methode von Pascal Thome erzielt wurden, Thome et al., 2019. Interpretation von Kleinwinkelkorngrenze als Anordnungen geometrisch notwendiger Versetzungen.

**Fig. 13.18:** Results obtained with the new high resolution EBSD method of Pascal Thome, Thome et al., 2019. Interpretation of small angle boundaries in terms of geometrically necessary dislocations.



**2020:** D. Bürger, A. Dlouhý, K. Yoshimi, G. Eggeler, How nanoscale dislocation reactions govern low-temperature and high-stress creep of Ni-base single crystal superalloys, *Crystals*, 10 (2020) article number: 134

D. Bürger, A. Dlouhý, K. Yoshimi, G. Eggeler, On the stress and temperature dependence of low temperature and high stress shear creep in Ni-base single crystal superalloys, *Mat. Sci. Eng. A* 795 (2020) article number: 139961



**Bild 13.19:** Bildung eines planaren Fehlers führen, Bürger et al. 2020.

*Fig. 13.19: Nucleation of planar faults, Bürger et al. 2020.*

L. Cao, P. Thome, L. Agudo Jácome, C. Somsen, G. Cailletaud, G. Eggeler, On the influence of crystallography on creep of circular notched single crystal superalloy specimens, *Mat. Sci. Eng. A*, 782 (2020) article number: 782

A. Durand, L. Peng, G. Laplanche, J.R. Morris, E.P. George, G. Eggeler, Interdiffusion in Cr-Fe-Co-Ni medium entropy alloys, *Intermetallics*, 122 (2020) article number: 106789

J. Frenzel, On the Importance of Structural and Functional Fatigue in Shape Memory Technology, *Shape Mem. Superelast.*, 6 (2020) pp. 181-190

J. Frenzel, On the Importance of Structural and Functional Fatigue in Shape Memory Technology, *Shape Mem. Superelast.*, 6 (2020) pp. 181-190

J.Y. He, F. Scholz, O.M. Horst, P. Thome, J. Frenzel, G. Eggeler, B. Gault, On the rhenium segregation at the low angle grain boundary in a single crystal Ni-base superalloy, *Scripta Mater.*, 185 (2020) pp. 88-93

- L. Heep, C. Schwalbe, C. Heinze, A. Dlouhý, C.M.F. Rae, G. Eggeler, Dislocation networks in gamma/gamma'-microstructures formed during selective laser melting of a Ni-base superalloy, *Scripta Mater.*, 190 (2021) pp. 121-125
- C. Hinte, K. Barianti, J. Steinbrucker, G. Gerstein, M.A. Swider, S. Herbst, G. Eggeler, H.J. Maier, Pattern-forming nano precipitates in NiTi-related high entropy shape memory alloys, *Scripta Mater.*, 186 (2020) pp. 132-135
- C. Hinte, K. Barianti, J. Steinbrücker, J.-M. Hartmann, G. Gerstein, S. Herbst, D. Piorunek, J. Frenzel, A. Fantin, H.J. Maier, The Effect of increasing chemical complexity on the mechanical and functional behavior of NiTi-related shape memory alloys, *Shape Mem. Superelast.*, 6 (2020) pp. 213-222
- O.M. Horst, D. Adler, P. Git, H. Wang, J. Streitberger, M. Holtkamp, N. Jöns, R.F. Singer, C. Körner, G. Eggeler, Exploring the fundamentals of Ni-based superalloy single crystal (SX) alloy design: Chemical composition vs. microstructure, *Materials and Design* 195 (2020) article number: 108976
- O. M. Horst, S. Ibrahimkhel, J. Streitberger, N. Wochmjakow, P. Git, F. Scholz, P. Thome, R. F. Singer, C. Körner, J. Frenzel, G. Eggeler: On the influence of alloy composition on creep behavior of Ni-based single crystal (SX) superalloys, in: *Superalloys 2020*, Springer 2020, pp. 60-70
- G. Laplanche, Growth kinetics of  $\sigma$ -phase precipitates and underlying diffusion processes in CrMnFeCoNi high-entropy alloys, *Acta Mater.*, 199 (2020) pp. 193-208
- G. Laplanche, M. Schneider, F. Scholz, J. Frenzel, G. Eggeler, J. Schreuer, Processing of a single-crystalline CrCoNi medium-entropy alloy and evolution of its thermal expansion and elastic stiffness coefficients with temperature, *Scripta Mater.*, 177 (2020) pp. 44-48
- P. Li, X.G. Wang, Y.Z. Zhou, J. Pfetzinger-Micklich, C. Somsen, G. Eggeler, Effect of aspect ratio on the deformation behavior of dislocation-free Ni<sub>3</sub>Al nano cubes, *Nanomaterials*, 10 (2020) article number: 2230
- D. Naujoks, M. Schneider, S. Salomon, J. Pfetzinger-Micklich, A.P.A. Subramanyam, T. Hammerschmidt, R. Drautz, J. Frenzel, A. Kostka, G. Eggeler, G. Laplanche, A. Ludwig, Experimental and theoretical investigation of the phase formation and mechanical properties in Cr-Co-Ni alloys processed using a novel thin-film quenching technique, *ACS Combinatorial Science*, 22 (2020) pp. 232-247
- C. Picornell, J. Pons, A. Paulsen, J. Frenzel, V. Kaminskii, K. Sapozhnikov, J. Van Humbeeck, S. Kustov, Burst-like reverse martensitic transformation during heating, cooling and under isothermal conditions in stabilized Ni-Ti-Nb, *Scripta Mater.*, 180 (2020) pp. 23-28
- D. Piorunek, J. Frenzel, N. Jöns, C. Somsen, G. Eggeler, Chemical complexity, microstructure and martensitic transformation in high entropy shape memory alloys, *Intermetallics*, 122 (2020) article number: 106792

- D. Piorunek, O. Oluwabi, J. Frenzel, A. Kostka, H.J. Maier, C. Somsen, G. Eggeler, Effect of off-stoichiometric compositions on microstructures and phase transformation behavior in Ni–Cu–Pd–Ti–Zr–Hf high entropy shape memory alloys, *J. Alloys Compounds*, (2020) article number: 157467
- F. Pöhl, C. Hardes, F. Scholz, J. Frenzel, Orientation-Dependent Deformation Behavior of 316L Steel Manufactured by Laser Metal Deposition and Casting under Local Scratch and Indentation Load, *Materials* 13, 7 (2020) article number: 1765
- E. Polatidis, M. Smid, I. Kubena, W.-N. Hsu, G. Laplanche, H. Van Swygenhoven, Deformation mechanisms in a superelastic NiTi alloy: An in-situ high resolution digital image correlation study, *Materials & Design*, 191 (2020) article number: 108622
- J. Rackwitz, Q. Yu, Y. Yang, G. Laplanche, E.P. George, A.M. Minor, R.O. Ritchie, Effects of cryogenic temperature and grain size on fatigue-crack propagation in the medium-entropy CrCoNi alloys, *Acta Mater.*, 200 (2020) pp. 351-365
- M. Schneider, E.P. George, T.J. Manescau, T. Zalzak, J. Hunfeld, A. Dlouhý, G. Eggeler, G. Laplanche, Analysis of strengthening due to grain boundaries and annealing twin boundaries in the CrCoNi medium-entropy alloy, *Int. J. Plasticity*, 124 (2020) pp. 155-169
- M. Schneider, F. Werner, D. Langenkämper, C. Reinhard, G. Laplanche, Data compilation on the effect of grain size, temperature, and texture on the strength of a single-phase FCC MnFeNi medium-entropy alloy, *Data in brief*, 28 (2020) article number: 104807
- A.B. Straumal, K.V. Tsoi, I.A. Mazilkin, A.O. Rodin, G. Eggeler, Comparison of spectra of grain boundaries spontaneously formed in Cu-Ag and Cu-In systems, *JETP Letters*, 111 (2020) pp. 447-451
- A. Straumal, I. Mazilkin, K. Tzoy, B. Straumal, K. Bryla, A. Baranchikov, G. Eggeler, Bulk and surface low temperature phase transitions in the Mg-alloy EZ33A, *Metals*, 10 (2020) article number: 1127
- A.S. Tirunilai, T. Hanemann, C. Reinhard, V. Tschan, K.-P. Weiss, G. Laplanche, J. Freudenberger, M. Heilmaier, A. Kauffmann, Comparison of cryogenic deformation of the concentrated solid solutions CoCrFeMnNi, CoCrNi and CoNi, *Mater. Sci. Eng. A*, 783 (2020) article number: 139290
- H. Wang, Y. Li, E. Detemple, G. Eggeler, Revealing the two-step nucleation and growth mechanism of vanadium carbonitrides in microalloyed steels, *Scripta Mater.*, 187 (2020) pp. 350-354
- X. Wu, S.K. Makineni, C.H. Liebscher, G. Dehm, J.R. Mianroodi, P. Shanthraj, B. Svendsen, D. Burger, G. Eggeler, D. Raabe, B. Gault, Correction - Unveiling the Re effect in Ni-based single crystal superalloys, *Nature Communications*, 11 (2020) article numbers: 389 and 1076

## 14. Anfahrt

### per PKW

Auf der Nord-Süd-Achse wird Bochum von der A43/A1 (Hamburg-Köln) gekreuzt, die Abfahrt „Ruhr-Universität“ liegt im Autobahnkreuz A43 mit A44 (Abfahrt Nr. 19). Auf der Ost-West-Achse wird Bochum von der A 44 (Niederlande-Kassel) gekreuzt, die in Bochum in die B1/A40 (Ruhrschnellweg) übergeht.

### per Bahn

Am Schienennetz der Deutschen Bahn AG liegt Bochum an der Bergisch-Märkischen Strecke. Der Hauptbahnhof Bochum - zugleich System-Halt im Intercity-Netz - wird täglich von vielen Euro- und Intercity-Zügen angefahren. Vom Bochumer Hauptbahnhof fährt die U35 alle 5 Minuten zur Ruhr-Universität Bochum (RUB), Fahrtdauer 10 Minuten. Von der RUB-Haltestelle aus (Bild 158, Lageplan: 1) erreicht man unseren Lehrstuhl zu Fuß in 5 Minuten.

### per Flugzeug

Vom Flughafen Düsseldorf sind wir in ca. 45 Minuten mit dem Mietwagen zu erreichen. Alle 30 Minuten geht ein Regionalexpress, der in einer halben Stunde den Bochumer Hauptbahnhof erreicht. Es gibt auch eine schnelle Zugverbindung zwischen dem Frankfurter Flughafen und dem Bochum Hauptbahnhof. Vom Bochumer Hauptbahnhof nimmt man die U35 (Untergrundbahn).

### an der Ruhr-Universität Bochum

An der Ruhr-Universität Bochum finden Sie uns im Gebäude ICFO (Bild 14-1).

## 14. How to reach us

### by Car

*From the north or south, Bochum can be reached on the Highway A43/A1 (Hamburg-Cologne). Exit 19 "Ruhr-Universität" is situated at the junction of A43 and A44. From the east or west, Highway A44 (Netherlands-Kassel) in Bochum continues as B1 (also referred to as A40, Ruhrschnellweg).*

### by Train

*Bochum can be easily reached by train from all major German cities. Many Euro- and Intercity trains stop at Bochum's main station (Bochum Hauptbahnhof). The Ruhr-Universität Bochum (RUB) can be easily reached in 10 minutes from Bochum Hauptbahnhof by the underground line U35, which runs in 5-minute intervals. From the RUB U35 (Figure 158, map: 1) it takes 5 minutes to reach us.*

### by Plane

*By rental car, it is a 45-minute drive from Düsseldorf airport to the Ruhr-Universität Bochum. There also is a convenient train connection which leaves from the airport train station every 30 minutes and reaches Bochum Hauptbahnhof in about half an hour. From Frankfurt airport, express trains also run directly to Bochum Hauptbahnhof in less than two hours. From Bochum Hauptbahnhof the RUB can be reached by U35 (underground line).*

### at the Ruhr-Universität Bochum

*At the Ruhr-Universität Bochum, we are located in building ICFO (Fig. 14-1).*





- 1** – U35, **2** – Werkstoffhalle in IAN, **3** – Institut für Werkstoffe in ICFO, **4** – Horst Görtz-Saal, **5** – Mensa, **6** – Veranstaltungszentrum

Bild 14.1: Vereinfachter Lageplan RUB. Fig. 14.1: Simplified RUB map.