

Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum

1.1. Werkstoffe – Charakterisierung – Fertigung / Arbeitspaket 1

1.1.1. Auswahl der Werkstoffe und Werkstoffbeschaffung / Arbeitspaket 1.1, Forschungsstelle Nr. 2

Es wurden der CrNiMo-legierte Einsatz- und Wälzlagerstahl 18CrNiMo7-6 sowie der MnCr-legierte Einsatzstahl 20MnCrB5 ausgewählt. Die benötigte Halbzeugmenge des Stahles 18CrNiMo7-6 wurde von der Firma SAH Stahlwerk Annahütte (Mitglied PbA) kostenfrei zur Verfügung gestellt. Die Firma Saarstahl AG lieferte kostenfrei die benötigte Halbzeugmenge des Stahles 20MnCrB5 (Mitglied PbA).

1.1.2. Werkstoffcharakterisierung / Arbeitspaket 1.2, Forschungsstellen Nr.1 und Nr. 2

Die Werkstoffe wurden im Anlieferungszustand charakterisiert. Abbildung 1 zeigt das Gefüge des Werkstoffes 18CrNiMo7-6 und Abbildung 2 des Werkstoffes 20MnCrB5. Als Ätzmittel wurde 3%-ige Salpetersäure eingesetzt.

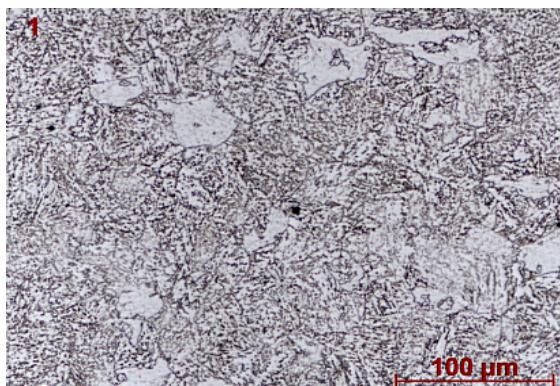


Abbildung 1. Gefüge 18CrNiMo7-6

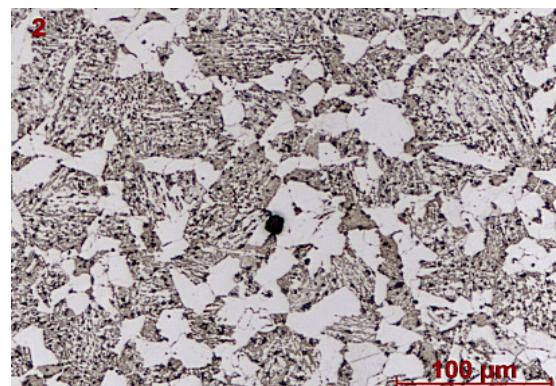


Abbildung 2. Gefüge 20MnCrB5

Das Gefüge des 18CrNiMo7-6 zeigt überwiegend Martensit und Zwischenstufen. Das Gefüge des 20MnCrB5 zeigt Ferrit, Martensit und Zwischenstufen. Weiterhin wurde die Brinell-Härte ermittelt. Für den 18CrNiMo7-6 beträgt diese 285 HB 2,5/187,5 und 228 HB 2,5/187,5 für den 20MnCrB5. Entsprechend der Norm ISO 18265 erfolgte eine Umwertung der Zahlenwerte der Brinell-Härte in Zugfestigkeitswerte. Für den 18CrNiMo7-6 beträgt die so ermittelte Zugfestigkeit 965 MPa – A.1 – HB und 770 MPa – A.1 – HB für den Werkstoff 20MnCrB5. Die chemische Zusammensetzung wurde mittels Glimmentladungsspektrometrie (GD-OES) ermittelt. Tabelle 1 zeigt die Analyseergebnisse.

Tabelle1. GD-OES-Analyseergebnisse

Element	18CrNiMo7-6	20MnCrB5
C [Ma-%]	0,17	0,15
Si [Ma-%]	0,24	0,25
Mn [Ma-%]	0,58	1,28
P [Ma-%]	0,006	0,010
S [Ma-%]	0,031	0,022
Cr [Ma-%]	1,56	1,25

Fortsetzung Tabelle1. GD-OES-Analyseergebnisse

Element	18CrNiMo7-6	20MnCrB5
Mo [Ma-%]	0,26	-
Ni [Ma-%]	1,43	-
B [%]	-	0,002

Die Brinell-Härtewerte und die Zahlenwerte der Elemente der GD-OES-Analysen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den vorliegenden Zahlenwerten der Stahlhersteller.

1.1.3. Probenfertigung / Arbeitspaket 1.3, Forschungsstellen Nr. 1 und Nr. 2

Mit dem projektbegleitenden Ausschuss (PbA) wurde am 14.06.2013 festgelegt, dass die Probenfertigung zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen werden soll. Mit der inhaltlichen Modifizierung des Arbeitspaketes soll erreicht werden, mittels einer Optimierung der Probengeometrien des Antrages, eine noch bessere Praxisrelevanz zu erreichen. Dies betraf bei der Probe Welle mit Querbohrung die Gesamtlänge, den Bohrungsdurchmesser (Kerbdetail) sowie das Anbringen von Zentrierflächen. Abbildung 3 zeigt die optimierte Probe Welle mit Querbohrung.

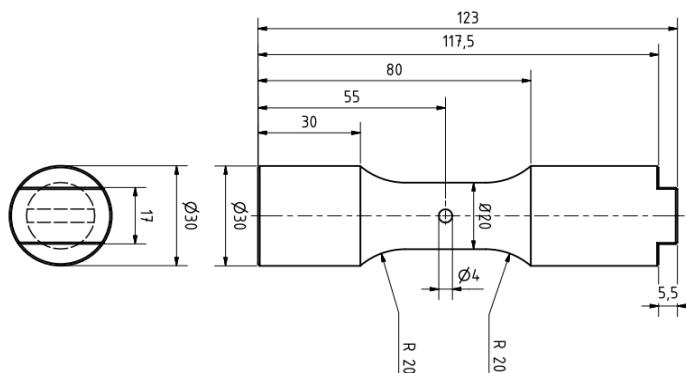


Abbildung 3. Optimierte Probe – Welle mit Querbohrung

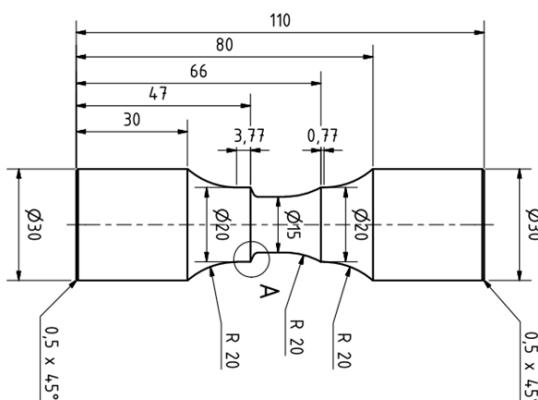


Abbildung 4. Optimierte Probe – Welle mit Absatz

Bei der Probe Welle mit Absatz betraf die Optimierung die Gesamtlänge, die Lage, den Radius sowie den Winkel des Absatzes (Kerbdetail). Abbildungen 4 zeigt die optimierte Probe Welle mit Absatz. Für die optimierten Modellbauteilproben wurden fertigungs-technische Zeichnungen erstellt. Mittels elastizitätstheoretischer Berechnungen wurde für die optimierten Probengeometrien nachgewiesen, dass die Spannungsmaxima der Beanspruchung weiterhin in den jeweiligen Kerbdetails liegen. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen das Ergebnis (Rot = Spannungsmaximum).

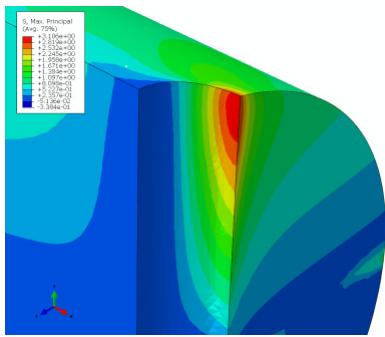


Abbildung 5. Welle mit Querbohrung – Bohrungsdetail

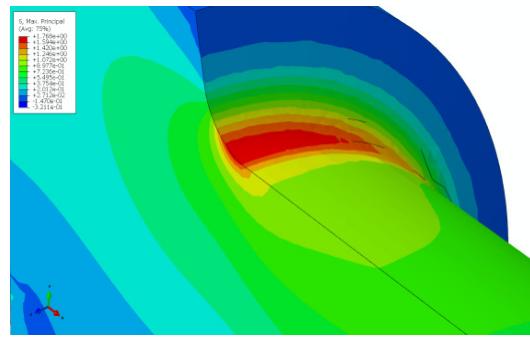


Abbildung 6. Welle mit Absatz – Absatzdetail

1.2. Modifizierte 4-Punkt-Biegevorrichtung / Arbeitspaket 2, Forschungsstellen Nr. 1 und Nr. 2

1.2.1. FEM-Rechnung Vorrichtung / Arbeitspaket 2.1, Forschungsstelle Nr. 1

Für die Schwingversuche an den Modellbauteilproben war es notwendig, eine modifizierte 4-Punkt-Biegevorrichtung zu konzipieren. Die Auslegung aller Komponenten der Biegevorrichtung wurden auf der Basis von Finite Element-(FE)-Berechnungen durchgeführt. Abbildung 7 zeigt das FE-Modell (1/4-Modell). Abbildung 8 zeigt, dass zwischen dem Nennbiegemoment und dem Biegemoment der Welle keine Nichtlinearitäten mehr auftreten. Die lokalen Spannungsverhältnisse der Probe entsprechen somit der Beanspruchung.

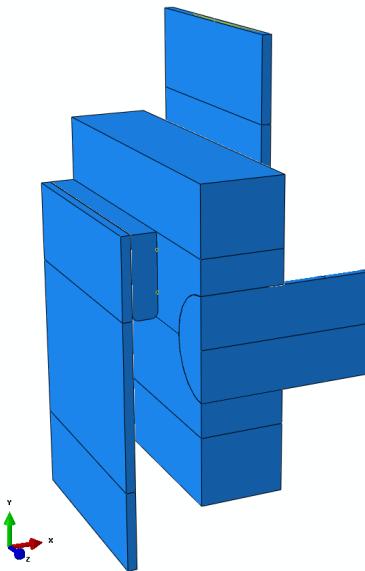


Abbildung 7. Detail FE-Modell

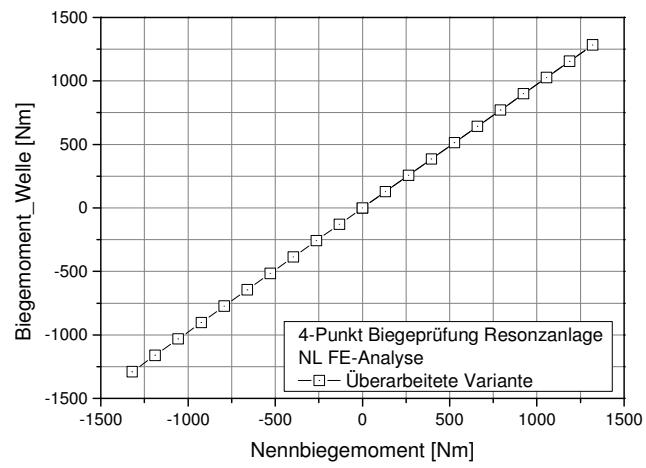


Abbildung 8. Proben- und Nennbiegemoment

1.2.2. Fertigung der Vorrichtung / Arbeitspaket 2.2, Forschungsstelle Nr. 2

Auf Basis der Ergebnisse der FEM-Rechnung des Arbeitspakets 2.1 wurde ein softwaregestützter 3D-Entwurf der modifizierten 4-Punkt-Biegevorrichtung erstellt. Die Abbildungen 9 und 10 zeigen verschiedene Ansichten. Die bauteilspezifischen Werkstoffe (30CrNiMo8 und Ti6Al4V) wurden entsprechend der Funktion sowie der zu erwartenden Beanspruchungen ausgewählt und die fertigungstechnischen Einzelteilzeichnungen erstellt.

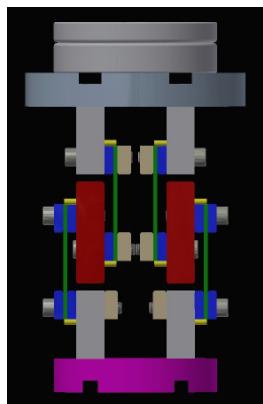


Abbildung 9. Vorderansicht 3D-Entwurf

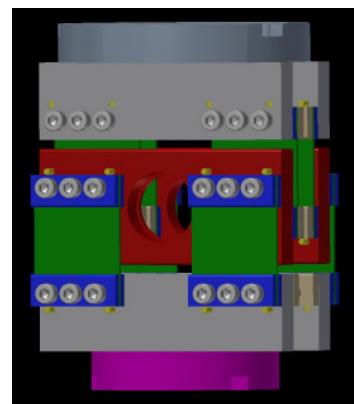


Abbildung 10. Seitenansicht 3D-Entwurf

1.2.3. Montage und Einbau / Arbeitspaket 2.3, Forschungsstelle Nr. 2

Die gelieferten Einzelteile der Vorrichtung wurden montiert und die modifizierte 4-Punkt-Biegevorrichtung in die Resonanzprüfmaschine eingebaut. Abbildung 11 zeigt die eingegebene Vorrichtung in einer Übersichtsaufnahme.



Abbildung 11. Übersichtsaufnahme eingebaute 4-Punkt-Biegevorrichtung

1.2.4. Vorversuche 4-Punkt-Biegevorrichtung / Arbeitspaket 2.3, Forschungsstelle Nr. 2

Je eine Probe der Geometrien nach Arbeitspaket 1.3 (Werkstoff 18CrNiMo7-6) wurde gefertigt und mit einer Prüfkraft von bis zu 25 kN rein wechselnd bis zum Probenbruch beansprucht. Der Bruch erfolgte jeweils innerhalb der Kerbdetails. Die Funktionsfähigkeit der modifizierten 4-Punkt-Biegevorrichtung konnte nachgewiesen werden.

1.3. Erweiterung der Funktionalität SYSWELD / Arbeitspaket 3, Forschungsstelle Nr. 1

1.3.1. Entwicklung eines Mehrfeld-Solvers / Arbeitspaket 3.1

Die Simulation des Einsatzhärtungsprozesses erfolgt mit dem FE-Programm SYSWELD. Stark gekoppelte thermo-metallurgische und thermo-mechanische Simulationen sind mit der Programmversion 2013 nicht möglich. Die Einflüsse des Spannungszustandes auf das Phasentransformationsverhalten können somit nicht untersucht werden. Deshalb wurde ein SYSWELD-Mehrfeld-Solver (Abbildung 12) auf Basis der Skriptsprache SIL entwickelt.

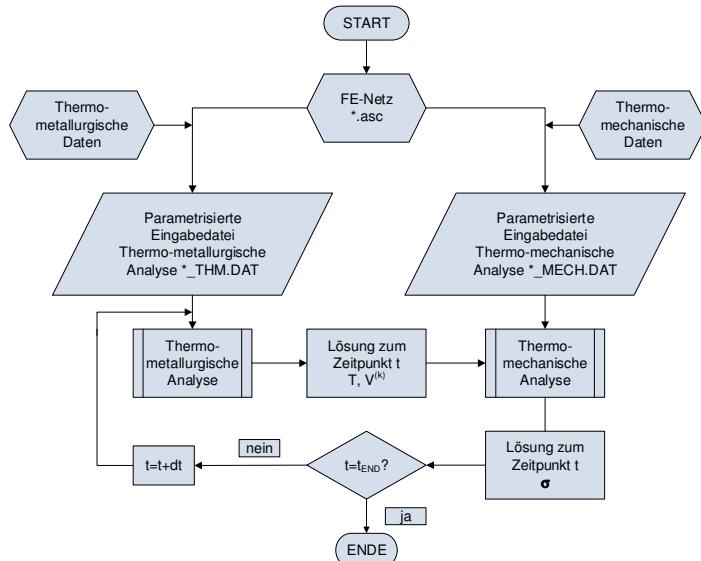


Abbildung 12. Erstellter SYSWELD-Mehrfeld-Solver

Abbildung 13 zeigt ein Anwendungsbeispiel des entwickelten SYSWELD-Mehrfeld-Solvers (Jominy-Abschreckprobe, Werkstoff 16MnCr5).

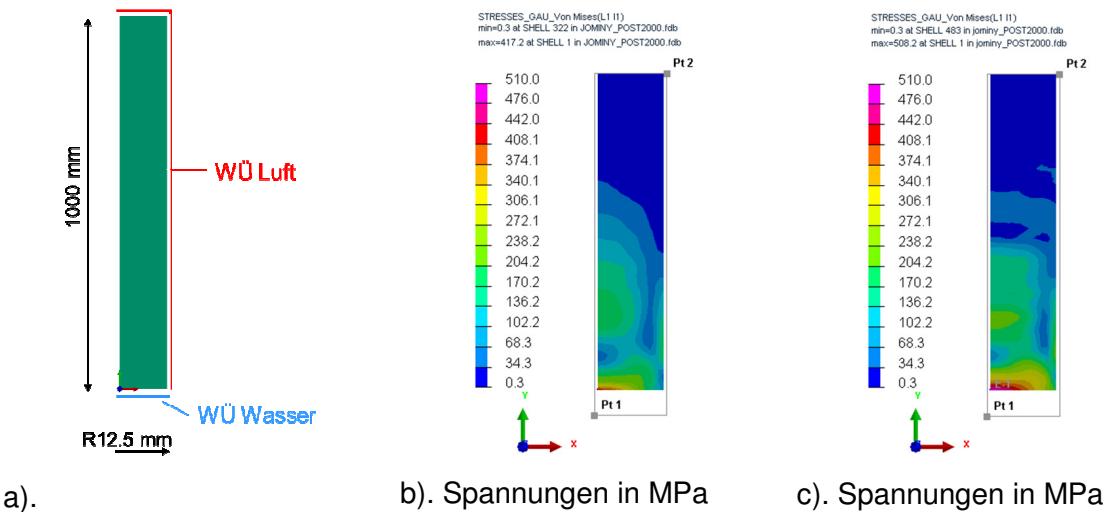


Abbildung 13. Gegenüberstellung unterschiedlicher Kopplungsvarianten

Gegenüber der Betrachtung ohne Kopplung (Abbildung 13b), führt die Berücksichtigung des Spannungszustandes auf das Phasentransformationsverhalten zu geänderten Spannungsverteilungen (mit Kopplung, Abbildung 13c) am Abschreckende. Die Zahlenwerte der Spannungen werden ebenfalls beeinflusst (hier nicht dargestellt).

1.3.2. Implementation Niederdruckaufkohlung / Arbeitspaket 3.1

Mit dem FE-Programm SYSWELD ist es nur möglich, die Simulation von Gasaufkohlungsprozessen durchzuführen. Deshalb wurde in SYSWELD ein theoretisches Modell zur Niederdruckaufkohlung implementiert. Es wurde auf das Modell von Diemar (*Simulation des Einsatzhärtens und Abschätzung der Dauerfestigkeit eingesetzähärteter Bauteile*. Dissertation, BU Weimar, 2007) zurückgegriffen. Die Implementation wurde mittels eigener

experimenteller Datensätze verifiziert. Abbildung 14 zeigt Ergebnisse aus Simulation und Experiment (Flachproben, Werkstoffe 20MnCrB5 und 18CrNiMo7-6).

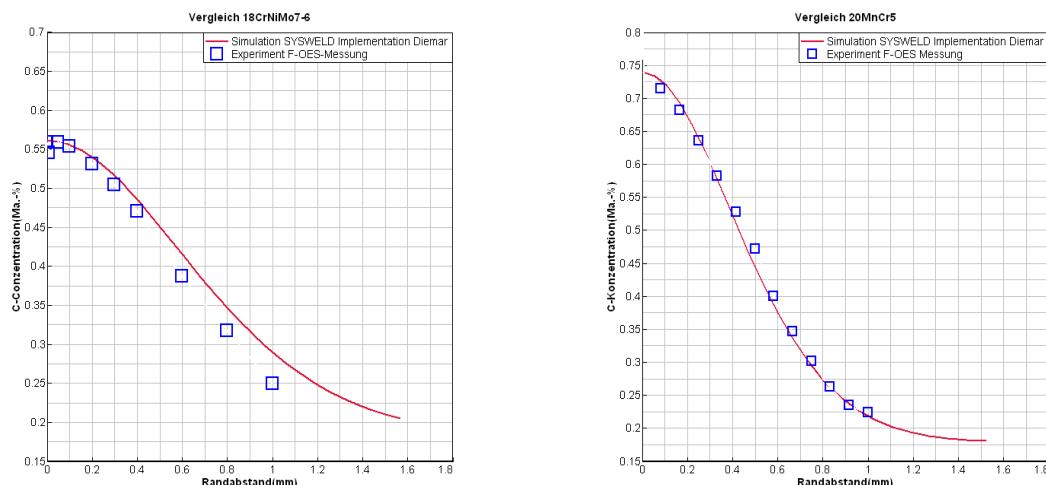


Abbildung 14. Verifikation des Niederdruckaufkohlungsmodells in SYSWELD

1.4. Durchführung von Numerischen Untersuchungen / Arbeitspaket 4, Forschungsstelle Nr. 1

1.4.1. Simulation der Standardeinsatzhärtung SEH / Arbeitspaket 4.1

Mittels der im PbA festgelegten Standardparameter des Einsatzhärteprozesses wurde zunächst für die Probe Welle mit Absatz eine Simulation des Niederdruckaufkohlens durchgeführt. Tabelle 2 zeigt die Parameter A und D (Aufkühlungstemperatur 930°C – Kohlenstoffträgergas Äthin, Härtetemperatur 860 °C).

Tabelle 2. Technische Parameter des Standard-Einsatzhärtungsprozesses

Zyklus	1	2	3	4	5	Abkühlung Härtetemperatur	Halten Härtetemperatur
A [min]	4,0	4,0	3,0	3,0	1,0	-	-
D [min]	5,0	15,0	25,0	25,0	30,0	10,0	10,0

Abbildung 15 zeigt einen Flächenplotausschnitt der Kohlenstoffkonzentration am Aufkühlungsende (Probe Welle mit Absatz). Deutlich erkennbar sind die geometriebedingten lokalen Unter- bzw. Überkohlungen (lokale Kohlenstoffkonzentration von 0,65 % bis 1,02 %).

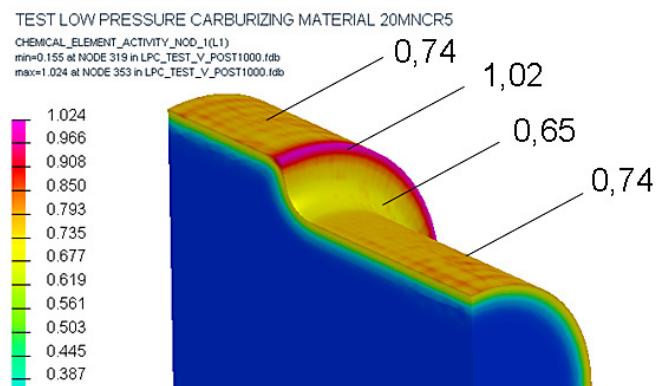


Abbildung 15. Simulation Niederdruckaufkohlung – Kohlenstoffkonzentration in Prozent

2. Verwendung der Zuwendung

Im Berichtszeitraum wurde, entsprechend der Einzelansätze des Finanzierungsplanes, nur folgendes Personal eingesetzt (Tabelle 3). Geräte oder Leistungen Dritter wurden nicht genutzt.

Tabelle 3. Übersicht des eingesetzten Personals

Personal	Forschungsstelle 1	Forschungsstelle 2
HPA-A Wissenschaftlicher Mitarbeiter (A.1)	6 MM	4 MM
HPA-D Technischer Angestellter (A.2)	keine	2 MM
HPA-E Technischer Angestellter (A.2)	keine	8 MM

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die vorgesehenen Arbeitspakete wurden abgearbeitet. Für den betrachteten Berichtszeitraum waren die zeitliche Abfolge und der notwendige Umfang der geleisteten Arbeit angemessen. Auf der Grundlage der sehr guten Zusammenarbeit der Forschungsstellen Nr. 1 und Nr. 2 sowie deren sich ergänzenden fachlichen Kompetenzen und personellen Ressourcen konnten geforderte inhaltliche Modifikationen zum Arbeitsumfang in den Arbeitspaketen sowie zeitliche Anpassungen in der Abfolge der Arbeiten problemlos umgesetzt werden.

4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Die im Jahr 2013 durchgeföhrten Transfermaßnahmen sind in der Tabelle 4 zusammengefasst. Der Plan ausgewählter Transfermaßnahmen für das Jahr 2014 ist in der Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 4. Durchgeföhrte Transfermaßnahmen im Berichtsjahr 2013

Beschreibung durchgeföhrter Transfermaßnahmen	Zeitangabe
1. Sitzung PbA, Weimar, inhaltliche und zeitliche Präzisierungen	14.06.
Projekt-Homepage (http://webuser.uni-weimar.de/~diemar/ehopt/index.html)	03.09.
Simulationsforum Schweißen und Wärmebehandlung, Weimar, Vortrag	15.10.
Bauhaus-Universität Weimar, Lehrveranstaltung „Ausgewählte Kapitel Stahlbau I“, Ergebnistransfer, studentische Ausbildung	laufend

Tabelle 5. Ausgewählte geplante Transfermaßnahmen 2014

Plan ausgewählter Transfermaßnahmen	Zeitplan
AWT-Arbeitskreis 21 – Gefüge und mechanische Eigenschaften, Vortrag	Februar
Metal Science and Heat Treatment, Springer-Verlag, Veröffentlichung	1. Halbjahr
International Journal of Fatigue, Elsevier-Verlag, Veröffentlichung	2. Halbjahr
3. Sitzung PbA, Weimar, Ergebnisdarstellung Projekt	23.09.
Heat Treatment Congress Köln, Vortrag	Oktober
Bauhaus-Universität Weimar, Lehrveranstaltung „Ausgewählte Kapitel Stahlbau II“, Ergebnistransfer, studentische Ausbildung	laufend