

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN

Fachzeitschrift für Schweißen und verwandte Verfahren

Autorenrichtlinie



Stand: 11/2025

Das Wichtigste auf einen Blick:

- Text der Manuskripte als Word-Datei einreichen (auf Deutsch und - nach Review - auch auf Englisch). Bitte verzichten Sie auf manuelle Silbentrennung. Ihr Word-Dokument wird zur Begutachtung und Redigat verwendet, anschließend wird der Beitrag von uns gesetzt.
- Bilder (Fotos, Zeichnungen, Schemadarstellungen, Diagramme) und Tabellen (Zahlentafeln, tabellarische Gegenüberstellungen) unterscheiden. Auflösung von Bilddateien mindestens 300 dpi, Dateiformate: tiff, eps, ai, jpeg, png. Bilder als separate Dateien zusenden; Tabellen separat als Word oder Excel.
- Maßeinheiten müssen zwingend SI-konform sein. Veraltete Maßeinheiten wie At.-%, Gew.-% usw. bitte nicht verwenden!
- Bitte beachten Sie auch, dass unser Zeitschriften-Design keine Platzierung von Trademark- und Copyright-Symbolen sowie keine Schreibweise in Versalien von Firmen- und Produktnamen vorsieht.
- Bitte verwenden Sie beim Zitieren den numerischen Stil: für verwendete Quellen im Fließtext Nummer in der fortlaufenden Reihenfolge vergeben. Bitte möglichst nicht die automatische Referenzerstellung von Word benutzen!

1 Inhaltliche und formale Textgestaltung

Dieses Dokument soll Ihnen zum einen als Anleitung zur Gestaltung Ihres Textes, zum anderen als Formatvorlage für Ihren Artikel dienen. Für diesen Zweck sind die üblichen Formatvorlagen von Word – Standard, Titel, Überschrift, Beschriftung – so angepasst, dass Sie in diesem Dokument mit dem Schreiben Ihres Artikels sofort loslegen können.

1.1 Dateien

Bitte reichen Sie folgende Dateien ein:

- Eine Text-Datei in Word mit am Ende des Dokuments eingebetteten Bildern und Tabellen für die redaktionelle Bearbeitung und das Peer-Review Verfahren.
- Beitragsbilder (inklusive Fotos von Autoren) als separate Dateien (tiff, jpeg, png, eps, ai) mit einer Auflösung von 300 dpi.
- (siehe auch die Hinweise im Abschnitt 2. Bilder und Tabellen).
- Im Text genannte Formeln als separate PDF-Dateien, Dateiname „Formel 1...“
- Tabellen als separate Word- oder Excel-Datei, Dateiname „Tabelle 1...“

1.2 Gliederung des Beitrages

Ihr Beitrag umfasst ca. 27.000 Zeichen inkl. Leerzeichen und besteht aus Vorspann, Hauptteil und Referenzen.

1.2.1 Vorspann

Der Vorspann enthält folgende Elemente in angegebener Reihenfolge:

- Vollständige Namen aller Autoren ohne Titel
- Beitragstitel: max. 100 Zeichen inkl. Leerzeichen,
- Deutsche Kurzfassung: max. 1.500 Zeichen inkl. Leerzeichen; keine Absätze,
- englischsprachiger Titel,
- englischsprachige Kurzfassung.

1.2.2 Hauptteil

Der Hauptteil ist maximal in die dritte Ebene strukturiert. Die Einleitung benötigt wie in dieser Vorlage ausgeführt – keine Überschrift

- Abschnittüberschriften haben max. 40 Zeichen
- Am Ende des Hauptteils steht ein Fazit über eventuelle weiter geplante Untersuchungen, Ausblick auf noch offene Probleme oder Ähnliches. Bei Forschungsarbeiten: Folgerungen für die Praxis.

1.2.3 Literatur

Im Text verweisen Sie über die in eckige Klammern gesetzte Nummer auf den Eintrag im Literaturverzeichnis zum Beispiel:

- [1] Matting, A., u. G. Jacoby: Die Zerrüttung metallischer Werkstoffe bei Schwingbeanspruchung in der Fraktografie. Aluminium 38 (1962), H. 10, S. 654/61.
- [2] Neumann, A.: Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure, Bd. 1, S. 31/40. DVS Media, Düsseldorf 1990.

Bei allen Quellen (auch Online-Quellen) bitte nach DIN ISO 690 zitieren. Bitte verwenden Sie beim Zitieren den numerischen Stil: für verwendete Quellen im Fließtext Nummer in der fortlaufenden Reihenfolge vergeben. Bitte möglichst nicht die automatische Referenzerstellung von Word benutzen.

1.3 Formale Textgestaltung

Die maximale Länge des formatierten Beitrages beträgt 27.000 Zeichen (inkl. Leerzeichen)

- Die SCHWEISSEN und SCHNEIDEN verwendet die vom Duden favorisierten Schreibungen und Regeln.
- Tabulatoren werden lediglich für Listen und Aufzählungen benötigt. Tabellen sollen in Word nicht mit Tabulatoren, sondern mit dem Tabelleneditor erfasst werden. Die Gleichungen sind mit fortlaufenden arabischen Ziffern zu nummerieren (in runden Klammern). Bitte exportieren Sie jede einzelne Formel als Bild in eine eigene pdf-Datei.

2 Bilder und Tabellen

Bilder sind wichtige ergänzende Elemente zu wissenschaftlichen Texten. Wir bitten Sie, folgende Hinweise zu beachten:

- Insgesamt 7 Bilder und Tabellen.
- Zeichnungen, Diagramme und Fotos werden in der Bildunterschrift als Bild (nicht „Abb.“ oder „Fig.“) gekennzeichnet.
- Bilder und Tabellen werden fortlaufend nummeriert (z. B. Bild 1, Bild 2 usw.) und mindestens einmal im Text zitiert.
- Die Bildunterschrift darf nicht in der Grafik stehen. Sie sollte den Inhalt des Bildes so wiedergeben, dass dieses selbsterklärend ist.
- Bildunterschriften sind mit Urheberangaben zu versehen (z. B. Bild 1: Text (@ Urheber)). Alle Bildunterschriften im Block unter den Beitrag stellen.
- Bilder fortlaufend nummerieren, Bildnummern im Manuskripttext einfügen.
- Tabellen (unabhängig von den Bildern) fortlaufend nummerieren, Tabellennummern im Manuskripttext einfügen.
- Benennungen, Bezeichnungen usw. nach den neuesten DIN-Normen, DVS-Merkblättern usw.
- Die Schriftart in allen Bildern sollte gleich sein.
- Effekte wie Füllmuster, Outline Fonts, Verläufe und Schatten bitte vermeiden.
- Bilder möglichst in Farbe; Mindestauflösung 300 dpi.
- Dateiformate: Wir arbeiten mit tiff, eps, ai, jpeg, png.

3 Autoren

- Word-Dokument mit Titel, Vor- und Zuname aller Verfasser, aktuelle Berufs-/Tätigkeitsbezeichnungen mit Angabe von Institut, Arbeitgeber und (optional) E-Mail-Adressen sowie kurzer Werdegang für unsere Online-Datenbank. Beachten Sie dazu www.schweissenundschneiden.de/datenschutz. Dokumente sollten den jeweiligen Namen sowie Vornamen des Autors beinhalten.
- Porträt-Foto als jpg

4 Danksagung

Für die Manuskripte zu IGF-Vorhaben bitte eine Danksagung einfügen.

Kontakt zur Redaktion

Manuskripte bitte an:

redaktion@dvs-media.info

sarah.gottschalk@dvs-media.info

Fachbeiträge zu IGF-Vorhaben:

Bitte senden Sie das Manuskript zusätzlich an philipp.okon@dvs-home.de, falls es sich um eine Veröffentlichung zu einem abgeschlossenen IGF-Vorhaben handelt, das über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS beantragt wurde.

Hinweis zur geschlechtergerechten Sprache

Die in der SCHWEISSEN und SCHNEIDEN veröffentlichten wissenschaftlichen Fachbeiträge werden im Peer-Review-Verfahren vorrangig hinsichtlich ihrer inhaltlichen Qualität geprüft. Das in den Artikeln zumeist gewählte generische Maskulinum bezieht sich dabei zugleich auf die männliche, die weibliche und andere Geschlechteridentitäten. Wir unterstützen ausdrücklich die Verwendung einer geschlechtergerechten Sprache, verzichten aber zu Gunsten der Leserlichkeit darauf.

Autoren

Beitragstitel
max. 100
Zeichen inkl.
Leerzeichen

Kurzfassung
max. 1.500
Zeichen inkl.
Leerzeichen

Kapitel-
überschrift

Hauptteil

FACHBEITRAG | ADDITIVE FERTIGUNG VON HOCHBELASTETEN BAUTEILEN

Max Mustermann, Max Mustermann, Max Mustermann, Max Mustermann, Max Mustermann

Herstellung beanspruchungsgerechter Oberflächen durch Kombination innovativer additiver und abtragender Fertigungsschritte an hochbelasteten Komponenten

Die additive Fertigung mittels Schweißverfahren bietet große ökonomische Vorteile für eine ressourceneffiziente Bauteilherstellung. Offene Fragen bezüglich Homogenität, Anisotropie der Schweißgefüge und den damit verbundenen Bauteileigenschaften stehen einer wirtschaftlichen Verarbeitung oftmals im Wege. Finale Bauteilgeometrie und Oberflächengüte erfordern meist komplementäre subtraktive Fertigungsschritte. Werkstoffe für hochbelastbare Komponenten sind oftmals schwer spanbar. In einem Vorhaben der BAM und des ISAF wurde untersucht, wie die Modifikation der AM-Schweißzusätze und das ultraschallunterstützte Fräsen (US) die Zerspanungssituation verbessern. Der vorliegende Artikel stellt wesentliche Zusammenhänge zwischen Legierung, Gefüge und Zerspanung zweier schwer spanbarer Hochleistungslegierungen (FeNi und CoCr) dar. Großes Potenzial zeigte neben dem US die Modifikation mit Zr und Hf bei Zulegierung in das Schweißgut mittels Beschichtung von Massivdrähten bzw. Herstellung von Fülldrähten.

1 Einleitung

Der globale Trend zur Energie- und Ressourceneffizienz bedingt zunehmendes Interesse an der Additiven Fertigung (Additive Manufacturing AM). AM hat vielfältige wirtschaftliche Vorteile bei der Reparatur, Modifikation oder Herstellung von Bauteilen und zeichnet sich zudem insbesondere durch eine sehr effiziente Materialausnutzung aus [1]. Allerdings sind diese AM-Bauteile in der Regel mechanisch nachbearbeitbar. So werden durch Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide (z. B. Fräsen) die endgültigen Konturen bzw. Oberflächen nulliert [2]. Es ist ein erheblicher Erkenntnisgewinn erforderlich, wie sich die heterogenen und anisotropen AM-bzw. Schweißgefüge auf die Zerspanung und die resultierenden Bauteileigenschaften auswirken. Hochleistungslegierungen auf Basis von Kobalt und Nickel stellen aufgrund ihrer niedrigen Wärmeleitfähigkeit verbunden mit hoher Festigkeit und Zähigkeit zusätzlich eine Herausforderung für die wirtschaftliche Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide dar. Zu den komplexen Wechselwirkungen zwischen Gefüge und AM-Prozess, insbesondere bei AM-Ver-

fahren im Bereich von Abschmelzleistungen von MSG-Verfahren, fehlen bislang wesentliche Erkenntnisse. Diese wären für eine sichere und wirtschaftliche Fertigung, insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), von zentraler Bedeutung. Im Folgenden werden zusammenfassend Forschungsergebnisse des Vorhabens vorgestellt, die gerade die gezielte Legierungsmodifikation anwendungsentwickler, schwer spanbarer Hochleistungslegierungen und die dadurch bedingte Beeinflussung der Erstarungsamorphologie fokussieren. Dadurch soll ein optimales gleichzeitiges und homogenes Gefüge sowie für nachfolgende mechanische Bearbeitungsprozesse stabile Prozessbedingungen erzielt werden. Die beiden im Projekt untersuchten schwer spanbaren Legierungen wurden anhand zweier unterschiedlicher Anwendungsbereiche ausgewählt, in denen AM Fertigungsschritte interessant sind: Formenbau (FeNi36, Werkstoff-

nummer 1.3912) und Hochtemperaturverschleißschutz (CoCr26Ni9Mo5W, Werkstoffnummer 2.4681). Hierfür erfolgte eine systematische Untersuchung von modifizierten pulverförmigen Schweißzusätzen anhand von Plasma-Pulver-Auftragschweißungen (PTA) mit den Elementen Hf, Zr sowie Ti. Anschließend wurden die drei vielversprechendsten Modifikationen anhand ihrer Mikrostruktur und Härte sowie der Zerspankraft und der Rauheit identifiziert und mithilfe von modifizierten Fülldrähten bzw. beschichteten Massivdrähten auf den additiven MSG-Prozess übertragen. Zahlreiche Studien belegen deutliche Vorteile ultraschallunterstützter Zerspanung gerade für schwer spanbare Werkstoffe. Gegenstand des Vorhabens ist deshalb auch die Untersuchung der Übertragbarkeit dieser positiven Ergebnisse auf die ausgewählten Legierungen. Die Zerspanbarkeit der Legierungsmodifikation wurde mittels

STICHWÖRTER

Additive Fertigung, Hafnium, hochlegierte Stähle, metallurgische Fragen, Spanen, Zirkonium

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung in wt % und mechanische Eigenschaften (bei RT, lt. Datenblatt) der Versuchswerkstoffe [9, 10]

Legierung	Ni	Co	Cr	Mo	W	Fe	Ms	C	R _{0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]
FeNi36	36					Rest			310	520	40
CoCr26Ni9Mo5W	9	Rest	26	5	2	3	0,8	0,06	495	951	42

Schleißprüfversuchen anhand konventioneller (CM) und ultraschallunterstützter Fräsprozesse (US) analysiert.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchswerkstoffe

Für die beiden untersuchten Werkstoffe, FeNi36 (1.3912) und CoCr26Ni9Mo5W (2.4681) – weiterführend als CoCr-Legierung bezeichnet – sind in Tabelle 1 die chemischen Zusammensetzungen sowie die mechanischen Eigenschaften dargestellt. FeNi36 zeichnet sich durch einen sehr niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten unterhalb der Curie-Temperatur aus, dem sogenannten Inverseffekt [3, 4]. Einsatzgebiete sind beispielsweise Fließguss und Formwerkzeuge für Verbundwerkstoffe [5, 6]. Die CoCr-Legierung wird aufgrund ihrer hervorragenden Korrosions- und Verschleißbeständigkeit bei Temperaturen bis zu

800 °C [7, 8] im Turbinen- und Anlagenbau eingesetzt. Zur Modifikation der beiden Legierungen ließen sich entsprechend im Rahmen einer statistischen Versuchsplanung die Elemente Ti, Zr und Hf jeweils pulvermetallurgisch hinzulegieren. Tabelle 2: Die Pulvermodifikation erfolgte mittels eines 3D-Schüttelmischers (Turbula, Fa. Wily A, Bachofen) mit dem infolge der rotatorischen, translatorischen Bewegungen und Inversion ein homogenes Mischgut erreicht wird. Anschließend wurden die Pulvermodifikationen mittels PTA-Verfahren schweißtechnisch zu AM-Proben (Ingots) verarbeitet. An den Ingots erfolgten Analysen hinsichtlich ihrer Mikrostruktur und Härte sowie Zerspanbarkeit (Zerspankraft und Oberflächen-güte/Rauheit). Auf Basis dieser Kriterien ließen sich die drei vielversprechendsten Modifikationen identifizieren. Tabelle 2: und mithilfe von modifizierten Fülldräht-

ten (CoCr) bzw. mittels PVD-beschichteter (PVD: Physical Vapour Deposition, dt. physikalische Gasphasenabscheidung) Massivdrähte (FeNi36) auf den MSG-Prozess übertragen. Die PVD-Beschichtungskammer (Fa. Ceme-Con) wurde dabei chargenweise mit der Substratdrähtelektrode bestückt. Die Beschichtungsdauer von 1 h resultierte in einer Beschichtungsdicke von 1,188 µm und entspricht ca. 0,4 wt₀ bezogen auf den Drahtquerschnitt. Für die Modifikationen wt₀ = 1 % bzw. wt₀ = 1 % der CoCr-Legierung wurden spezielle Fülldrähte hergestellt.

2.2 MSG-Schweißungen

Die MSG-Schweißversuche wurden vollautomatisch mittels einer MSG-Schweißanlage (Fa. EWM) und einem Schweißroboter (Fa. HLT-Gaullier) durchgeführt. Die Schweißparameter für die jeweiligen Legierungsmodifikationen zeigt Tabelle 3. Mehrere Schweißraupen wurden in

ABSTRACT

Production of Stress-resistant Surfaces by Combining Innovative Additive and Removal Manufacturing Processes on Highly Stressed Components

Additive manufacturing using welding processes offers great economic advantages for resource-efficient component production. Open questions regarding homogeneity, anisotropy of the weld structure and the associated component properties often limit economical processing. Final component geometry and surface quality usually require complementary subtractive manufacturing steps. Materi-

als for highly stressed components are often difficult to cut. A BAM and ISAF project investigated how the modification of AM welding filler metals and ultrasonic-assisted milling (US) improve the machining situation. This article presents the essential relationships between alloy, microstructure and machining of two superalloys (FeNi and CoCr) that are difficult to cut. In addition to US, modification with Zr

and Hf showed great potential when alloyed into the weld metal by coating solid wires or producing core wires.

KEYWORDS

additive manufacturing, hafnium, high alloy steels, metallurgical questions, machining, zirconium

Tabelle

Unterkapitel-
überschrift

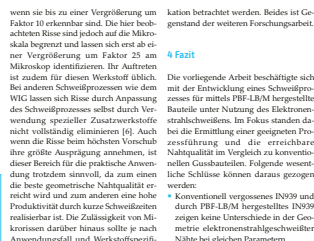
Englisch-
sprachiger
Titel

Englisch-
sprachige
Kurzfassung

Bildunterschrift

Auch die Verteilung der Mikrorisse ist unterschiedlich. Während das gegossene **PE990** zu einem verstärkten Risikofreisetzen im Bereich der parallelen Nahtflanken neigt, ist dieser Anteil beim PBF-LB/M-Material eher gering ausgeprägt. Hier kommt es zu einer Risikonzentration am Nahtkopf bzw. seltener an der Nahtwurzel. Für die Anwendung des Elektronenstrahlsschweißens in der Praxis stellt diese Verteilung einen Vorteil dar. Für Anwendungen, bei denen das Auftreten der Mikrorisse vermieden werden soll, können diese durch Anpassung der Parameter aus dem mittleren Teil der Schweifnaht zum Wurzel- und Kopfbereich hin verdrängt werden, welche durch ein Aufmaß und spanende Nachbearbeitung

Schweißen und Schneiden 77 (2025) Heft 10



4 Fazit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Schweißprozesses für mittels PBF-LB/M hergestellte Bauteile unter Nutzung des Elektronenstrahlstrahlschweißens. Im Fokus standen dabei die Ermittlung einer geeigneten Prozessführung und die erreichbare Nahtqualität im Vergleich zu konventionellen Gussbauteilen. Folgende wesentliche Schlüsse können daraus gezogen werden:

- Konventionell vergossenes IN939 und durch PBF-LB/M hergestelltes IN939 zeigen keine Unterschiede in der Geometrie elektronenstrahlgeschweißter Nähte bei gleichen Parametern

verbrauch bei der Zerspänung mit entsprechenden wirtschaftlichen Vorteilen für KML. Das US-Beding sowohl für Fein- als auch für die Co-Co-Leistungserstellung unabhängig die geringste Raueinheit bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten. Ferner induziert der US oberflächennahe Druckeigenschaften, welche einen positiven Einfluss auf die Bauteilebensdauer haben können. Durch den Einsatz des US kann in Prozessketten, in denen gezielt oberflächennahe Druckeigenschaften induziert werden, der letzte Fertigungsschritt, zum Beispiel das Kugelhasteln, eingespart und ein erheblicher Kostenvorteil für den Anwender erzielt werden. Ausgehend von dieser Analyse und insbesondere für KML Handlungsempfehlungen, die eine sichere und wirtschaftliche Komplettleistung additive und zerspänende Fertigung solcher schwer bearbeitbaren Hochleistungswerkstoffe absteuert.

Literatur

- [1] Treutler, K., u. V. Wieding: The current state of research in wire Arc Additive Manufacturing (WAAM): A Review. *Applied Sciences* 18 (2021), H. 1, 8679; <https://doi.org/10.3390/app1188679>.
- [2] Schroepfer, D., u. a.: Surface finishing of hard-to-machine cladding alloys for highly stressed components. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 114 (2021), H. 5-6, S. 1627-162.
- [3] Treutler, K., u. V. Wieding: The current state of research in wire Arc Additive Manufacturing (WAAM): A Review. *Applied Sciences* 18 (2021), H. 1, 8679; <https://doi.org/10.3390/app1188679>.
- [4] VDM Metals (Hrsg.): Alloy 36. Werkstoffdatenblatt. Nr. 7101 (2023). März 2023 [online]. Verfügbar unter: https://www.vdm-metals.com/UploadImages/user_upload/Downloads/Data_Sheet_Data-blatt_VDM_Alloy_36.pdf [Zugriff am 22.09.2023].
- [5] Engstling, L., u. a.: Herstellung beanspruchungsgechter Oberflächen durch Kombination innovativer additiver und abtrocknender Fertigungsprozesse.

AUTOREN

Erika Mustermann, M. Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
am Institut für Schweißtechnik
erika.mustermann@iwt.uni-ds.de



**Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Erika Mustermann**
Fachbereichsleiterin am Institut
für Schweißtechnik

Dr.-Ing. Max Mustermann
Fachbereichsleiter am Institut
für Schweißtechnik
max.mustermann@iostw.de



Max Mustermann M. Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Institut für Schweißtechnik
max.mustermann@mx.de

[13] Eissel, A., u. a.: Modification of Co-Cr alloys to optimize additively welded microstructures and subsequent surface finishing. *Welding in the World* 66 (2022) 103–112.

[34] Eissel, A., u. a.: Alloy modification for additive manufactured Ni alloy components Part I: Effect on

[15] Rinck, P. M., u. a.: Experimental investigations on longitudinal-torsional vibration, printed online.

of T1-6A1-4V. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 108 (2020), H. 11-12, S. 3607/18.

[16] Zheng, L., W. Chen u. D. Huo: Vibration assisted machining: Theory, modelling and applications. Wiley, Hoboken/US 2021.

[17] Ahmed, Y. S., u. a.: Effect of built-up-edge formation during stable state of wear in AISI 304 stainless steel on machining performance and surface finish. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 107 (2016) 117–128.

[18] Enzokine, I.: Optimization of surface residual

stresses using ultrasonic-assisted milling for wire-arc additive manufactured Ni alloy components. The International Journal of Advanced Manufactu-

[19] Mirkoohi, E., P. Bocchini u. S. Y. Liang: Inverse analysis of residual stress in orthogonal cutting. *Journal of Manufacturing Processes* 126 (2023), H. (9), S. 4791/98.

Journal of Manufacturing Processes 38 (2019) 5. 462/71.

DANKSAGUNG

Das IGF-Vorhaben Nummer XXXXXX/DVS-Nummer YY.YYY der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren

e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf, wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Coordinating editor:

 American Psychological Association
750 First Street, N.E.
Washington, DC 20002-4242
U.S.A.

und die beiden
aufeinander
aufeinander
aufeinander

- Literatur

- **Danksagung**
(optional)

Gelehrter steht:

Der Deutsche Forschungsrat
für Geistes- und
Humanwissenschaften

eingesetzt von: Der Vorstand
des Deutschen Forschungsrats

53