

Jost, Norbert (Ed.)

Proceedings

Technik-Forum 2006: Innovative neue Techniken für Werkzeuge der Kaltverformung

Beiträge der Hochschule Pforzheim, No. 125

Provided in Cooperation with:

Hochschule Pforzheim

Suggested Citation: Jost, Norbert (Ed.) (2007) : Technik-Forum 2006: Innovative neue Techniken für Werkzeuge der Kaltverformung, Beiträge der Hochschule Pforzheim, No. 125, Hochschule Pforzheim, Pforzheim,
<https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:951-opus-604>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/233604>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

BEITRÄGE DER HOCHSCHULE PFORZHEIM

Norbert Jost (Hrsg.)

**Technik-Forum 2006:
Innovative neue Techniken für
Werkzeuge der Kaltverformung**

Nr. 125

Herausgeber: Prof. Dr. Ansgar Häfner, Prof. Dr. Norbert Jost,
Prof. Dr. Karl-Heinz Rau, Prof. Dr. Roland Scherr,
Prof. Dr. Christa Wehner, Prof. Dr. Rainer Maurer
(geschäftsführend; rainer.maurer@hs-pforzheim.de)

Sekretariat: Alice Dobrinski
Hochschule Pforzheim,
Tiefenbronner Str. 65
75175 Pforzheim
alice.dobrinski@hs-pforzheim.de
Telefon: 07231/28-6201
Telefax: 07231/28-6666

Ausgabe: Juni 2007

Norbert Jost (Hrsg.)

Technik-Forum 2006:

**Innovative neue Techniken für Werkzeuge der
Kaltverformung**

Tagungsband zum
Technik-Forum 2006
der Max- und Erni-Bühler-Stiftung.
Das Forum fand im November 2006
an der Hochschule Pforzheim statt.

Prof. Dr. Norbert Jost (Hrsg.)
Hochschule Pforzheim
Fakultät Technik
Studiengang Maschinenbau
norbert.jost@hs-pforzheim.de

Inhalt des Tagungsbandes

Vorwort des Herausgebers.....	2
Kurzbiographien der Vortragenden beim Technik-Forum 2006.....	5
P.A. Schwarz, S. Siwczyk, F. Wendl	
Einige Erfahrungen beim Kaltmassivumformen mit Keramikwerkzeugen.....	10
Horst Bürkle, Rainer Menge	
Berechnung von Tänzermomenten für spezielle Tänzerkonstruktionen.....	20
Michael Schiller	
LEXT – Hochauflösende 3-dimensionale qualitative und quantitative Oberflächenanalyse mit konfokaler UV-Laser Mikroskopie.....	27
Andreas Baum	
Anwendungsbeispiele und Belastungstests laserbeschichteter Werkzeuge für die Kaltumformung.....	33
Ursula Christian	
Anwendungsbeispiele und Belastungstests laserbeschichteter Werkzeuge für die Kaltumformung.....	61
Manfred Moik	
Veränderung der Exzentrizität der Rohre beim Gleitziehen mittels Variation der Einlaufrichtung.....	89
Erwin Staudt	
Strategien zum Erfolg – Sport und Wirtschaft im Vergleich.....	112

Vorwort des Herausgebers

Die Region Nordschwarzwald hat sich in den letzten Jahren mit großem Erfolg zu einem hochinnovativen Technologie-Zentrum der Metallbe- und -verarbeitung entwickeln können. Insbesondere die Unternehmen aus dem Bereich der Kaltverformung von Metallen konnten sich eine hervorragende Marktposition erarbeiten. Die Anwendung neuester, innovativer Techniken in der Produktion und bei der Produktgestaltung führten und führen in spezifischen Segmenten nicht selten sogar zu großer internationaler Wertschätzung.

Auch das am 14. November 2006 und seit Beginn der Kooperation der Bühler-Stiftung mit dem Studiengang Maschinenbau bereits zum siebten Male stattgefundene Technik-Forum erfreut sich einer großen Anerkennung. Es hat sich zu einer stabilen und kompetenten Plattform für den regionalen und überregionalen Erfahrung- und Wissensaustausch zwischen Hochschule und Industrie entwickelt.

Bewährt hat sich die Aufteilung in einen fachlichen Teil (Workshop) sowie einem eingeladenen Festvortrag, der wieder gemeinsam mit dem Studium Generale stattfand.

Für den ersten Vortrag des Technik Forums konnte **Professor Dr. Franz Wendl, Leiter des Lehrgebietes Werkstoffkunde der Hochschule Iserlohn** und Geschäftsführer des Instituts für Umformtechnik, Hagen gewonnen werden. Er referierte über die Einsparpotentiale in Verbindung mit dem Einsatz von Umformwerkzeugen aus Keramik.

Rolf Bürkle, Geschäftsführer bei der Bühler & Co. GmbH Pforzheim, und Dr.-Ing. Rainer Menge, Geschäftsführer bei Niehoff-Bühler GmbH Pforzheim, erläuterten dem Fachpublikum eine spezielle Tänzerregelung beim Walzen. Mit dieser Technik wird erreicht, dass beim mehrgerüstigen Walzen die einzelnen Gerüste in ihrer Walzgeschwindigkeit bestmöglich synchronisiert werden und so der gesamte Produktionsprozess zu einer deutlichen Optimierung geführt werden kann.

Den Übergang von der Produktions- und Fertigungstechnik zur Analyse und Werkstoffentwicklung gestaltete **Dipl.-Ing. Michael Schiller von Olympus, Hamburg**. Er stellte das von Olympus entwickelte System LEXT vor, ein neuartiges, konfokales Laser Scanning Mikroskop, das 3-dimensionale, hochpräzise Messungen und gleichzeitig hoch aufgelöste Oberflächendarstellungen in Echtzeit ermöglicht.

Erfreulicherweise konnte für die gesamte Dauer des Technik-Forums von Olympus ein Vorführgerät zur Verfügung gestellt werden, welches in den Pausen von den Forums-Teilnehmern überaus stark frequentiert wurde.

Den traditionellen Abschluss bildete wieder das erfolgreiche Forschungsteam der Hochschule Pforzheim, bestehend aus **Dipl.-Ing. Andreas Baum und Ursula Christian**. Sie berichteten über ihre aktuellsten Ergebnisse des von der Max-und Erni-Bühler-Stiftung geförderten Kooperationsprojektes. Das Laserauftragschweißen ist ein Beschichtungsverfahren, mit dem unter anderem sehr harte und verschleißfeste Schichten aufgebracht werden können. Für einen erfolgreichen industriellen Einsatz dieses Verfahrens müssen die optimalen Schichtwerkstoffe jedoch in Abhängigkeit der vielfältigen spezifischen Belastungen und den daraus resultierenden Verschleißmechanismen ausgewählt werden können. Es wurde gezeigt, dass ein im Rahmen dieser Arbeiten entwickeltes Verfahren hervorragende Ergebnisse liefern und so erstmals für die ersten industriellen Anwendungen qualifiziert werden kann.

Eine ganz besondere Bereicherung des Programms und gleichzeitig den würdigen Abschluss des Technik-Forums 2006 stellte der Festvortrag von Senator h.c., Dipl.-Volkswirt Erwin Staudt, ehem. Vorsitzender der Geschäftsführung IBM Deutschland GmbH und Präsident des VFB Stuttgart dar. In seinen Ausführungen zu den „**Strategien zum Erfolg – Sport und Wirtschaft im Vergleich**“ stellte er nach einem einführenden Vergleich der für den Laien doch sehr erstaunlichen Gemeinsamkeiten zwischen Sport- und Wirtschaftsunternehmens die wesentlichen Zielführenden Strategien heraus. Im Anschluss an die höchst anschaulich gestaltete und vorgetragene Festrede entwickelte sich eine angeregte und interessante Diskussion, die beim abschließenden Buffet noch intensiv fortgesetzt wurde.

Auch wenn sich die Organisatoren einer Tagung wie dem Technik-Forum noch so sehr bemühen; der Erfolg einer solchen Veranstaltung wird letztendlich ganz wesent-

lich durch die Teilnehmer und die Vortragenden bestimmt. Allen sei hiermit herzlich gedankt. Ebenso natürlich den vielen Ungenannten hinter den Kulissen, die auch dieses Jahr wieder an der Vorbereitung und Durchführung des Technik-Forums mitgewirkt haben.

Die Veranstalter hoffen, dass dieser hier vorliegende Tagungsband nicht nur als persönliche Erinnerung an das Technik-Forum 2006, sondern auch als wertvoller fachlicher Beitrag zu den in den Vorträgen behandelten Gebieten aufgenommen wird und wie auch die Bände der Vorjahre entsprechende Verbreitung findet.

Pforzheim im Mai 2007

Norbert Jost

Kurzbiografien der Vortragenden beim Technik Forum 2006

Prof. Dr.-Ing. Norbert Jost

Prof. Dr.-Ing. Norbert Jost ist seit 1996 Professor für Werkstoffkunde, Festigkeitslehre sowie Qualitätsmanagement an der Hochschule Pforzheim.

Von 1984 bis 1991 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Oberingenieur am Institut für Werkstoffe der Ruhr-Universität Bochum tätig. Danach folgte die Tätigkeit als Abteilungsleiter bei der DEKRA AG, Stuttgart und Leiter der Materialprüfanstalt der DEKRA-ETS GmbH, Saarbrücken sowie stellv. Geschäftsführer der DEKRA-ETS ebenfalls in Saarbrücken.

Neben der Tätigkeit als Professor an der Hochschule ist er Mitglied im DIN-Arbeitsausschuss "Implantatwerkstoffe" sowie der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde.

Prof. Dr.-Ing. Franz Wendl

Prof. Dr.-Ing. Franz Wendl ist seit März 1996 Geschäftsführer am Institut für Umformtechnik (IFU) in Hagen und der Forschungseinrichtung für die Kaltumformung von Metallen (FKM) in Lüdenscheid. Seit September 1994 ist Herr Wendl Professor für das Lehrgebiet Werkstoffkunde/Werkstoffprüfung an der Hochschule Südwestfalen in Iserlohn.

Nach seinem Studium in der Fachrichtung Maschinenbau an der Fachhochschule Hagen und in der Fachrichtung Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Werkstoffkunde an der Ruhr-Universität Bochum (RUB) war er zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffkunde an der RUB tätig. Danach erfolgte dort eine Promotion zum Dr.-Ing. zum Thema Werkzeugstahl und eine Anstellung als Oberingenieur.

Vor seiner Berufung zum Professor war er zudem noch in der Werkzeugstahlabteilung der Thyssen Edelstahlwerke in Witten tätig.

Horst Bürkle

Horst Bürkle ist seit 1993 Geschäftsführer der Bühler & Co. GmbH. Die Interessen des Unternehmens vertritt er auch im Gemeinschaftsunternehmen NBM Niehoff-Bühler GmbH, welches sich mit dem Bau und dem Vertrieb von induktiven Glühanlagen beschäftigt.

Horst Bürkle wurde 1938 in Pforzheim geboren. Nach der Schulausbildung absolvierte er eine Lehre als Maschinenschlosser bei der Maschinenfabrik Bühler in Pforzheim. Danach war er in Stuttgart und Esslingen zur schulischen und beruflichen Weiterbildung tätig. 1961 kehrte er als Konstrukteur zur Maschinenfabrik Bühler nach Pforzheim zurück. Gleichzeitig begann er in Fernkursen die Ausbildung zum Techniker bei Christiani und SGD in Darmstadt. 1963 wechselte er in den Vertrieb im Hause Bühler und ist seit 1979 Gesellschafter in der heutigen Bühler & Co GmbH.

Dr.-Ing. Rainer Menge

Dr.-Ing. Rainer Menge betreibt seit 1997 das Herborner Drahtbüro als Beratungsunternehmen für die Draht- und Kabel- sowie NE-Halbzeugindustrie.

Er ist Mitglied der DGM und arbeitet aktiv im Fachausschuss Ziehen. Er ist Autor einer Reihe von Veröffentlichungen und Gastdozent an der Bergakademie Freiberg.

Nach dem Studium der Metallkunde an der TU Bergakademie Freiberg (1977-1982) arbeitete er bis 1991 im Walzwerk Hettstedt (Mansfelder Kupfer- und Messingwerke) in verschiedenen Funktionen im Bereich F&E. In dieser Zeit promovierte er zum Dr.-Ing. als außerplanmäßiger Aspirant an der TU Bergakademie Freiberg mit dem Thema: „Beitrag zur Schnellwärmebehandlung von Kupferlegierungs- und Verbunddrähten“.

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Baum

Seit Sommer 2003 arbeitet Herr Baum als Forschungs- und Entwicklungsingenieur für das gemeinsame Forschungsprojekt mit der Max- und Erni-Bühler Stiftung an der Hochschule in Pforzheim.

Nach dem Abitur begann er sein Studium des Maschinenbaus an der Hochschule Pforzheim. Daneben sammelte er in verschiedenen Funktionen bei der Witzenmann GmbH vor allem im Bereich der Entwicklung von Fahrzeugteilen praktische Erfahrungen.

Herr Baum absolvierte sein Maschinenbau-Studium im Jahre 2004. Für seine Diplomarbeit, die er an Themenstellungen des Forschungsprojektes mit der Max- und Erni-Bühler Stiftung durchführte, wurde er von der Hochschule Pforzheim mit dem „Research-Excellence-Award“ ausgezeichnet.

Parallel zu seiner Tätigkeit an der Hochschule Pforzheim arbeitet Herr Baum in Zusammenarbeit mit der TU Dresden an einer Doktorarbeit im Themengebiet Laserumschmelzen und Laserauftragschweißen.

Ursula Christian

Frau Ursula Christian ist seit 2001 Mitarbeiterin der Hochschule in Pforzheim im Forschungsprojekt mit der Max- und Erni-Bühler-Stiftung.

Ihre Ausbildung zur Metallografin absolvierte sie bei der Firma Kabel-Metall in Nürnberg, wo sie auch danach beschäftigt war. Von 1973 bis 1995 war sie als Gruppenleiterin bei der Firma Diehl in Röttenbach/Nürnberg tätig.

Dipl.-Ing. Michael Schiller

Michael Schiller ist seit November 2001 als Produktmanager bei Olympus Europa GmbH / Olympus Life & Material Science Europa GmbH im Bereich der Mikroskopie beschäftigt.

Er absolvierte den Studiengang Physikalische Technik an der FH Lübeck sowie den Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen an der Hamburger Fern-Hochschule und war danach als Angestellter am Medizinischen Laserzentrum Lübeck tätig. Anschließend war er technischer Leiter bei der Vasculab Medizintechnik GmbH in Wismar sowie als Produktmanager bei der Dräger Medizintechnik GmbH (Lübeck) im Bereich der Notfallmedizin (Defibrillation & Transportmonitoring) und als Produktmanager (Upstream) bei GE Medical System Information Technologies (Freiburg) für den Bereich Defibrillation tätig.

Senator h.c. Dipl.-Volkswirt Erwin Staudt

Erwin Staudt wurde am 25. Februar 1948 in Leonberg geboren. Er studierte Wirtschaftswissenschaften an den Universitäten Stuttgart und Freiburg. Sein Examen als Diplom-Volkswirt legte er 1973 ab.

Erwin Staudt trat 1973 in die IBM Deutschland ein. Seine erste Aufgabe als Führungskraft übernahm er 1982 in Stuttgart. Dort war er als Vertriebsleiter zuständig für die baden-württembergischen Kunden in den Bereichen Finanzverwaltung, Sozialversicherungen und Energieversorgung. Es folgte die Position des Leiters Marketingprojekte in der Hauptverwaltung, daran anschließend die Aufgabe eines Assistenten beim Geschäftsführer Marketing und Services.

Von 1986 bis 1989 leitete Erwin Staudt die Berliner Niederlassung der IBM. 1989 übernahm er als Generalbevollmächtigter die Leitung des Bereichs Kommunikation/Öffentlichkeitsarbeit in der Stuttgarter Hauptverwaltung. Von Juli 1992 bis Ende 1993 war er für das gesamte PC-Geschäft in Deutschland verantwortlich. Im Januar 1994 wurde Erwin Staudt Leiter des Vertriebs und in dieser Aufgabe zum Geschäftsführer der IBM Deutschland Informationssysteme GmbH bestellt.

Im Oktober 1994 ging Erwin Staudt zunächst als General Manager für Competitive Marketing, dann als Vice President Marketing in die europäische Zentrale der IBM nach Paris. Von Juli 1995 bis Oktober 1998 war er weltweit verantwortlich für die Geschäftsbereiche "Grundstoffindustrie" und "Petroleum". Vom 1.

November 1998 bis zum 14. Januar 2003 war Erwin Staudt Vorsitzender der Geschäftsführung der IBM Deutschland GmbH.

Erwin Staudt ist Aufsichtsratsmitglied der Grenke Leasing AG in Baden-Baden, der PROFI Engineering System AG in Darmstadt und der USU AG in Möglingen. Als Mitglied des Beirats fungiert er bei der Deutsche Bank AG in Stuttgart und der Hamburg-Mannheimer Versicherungsgesellschaften, Hamburg. Ferner sitzt Erwin Staudt im Verwaltungsrat der Hahn Verwaltungs-GmbH in Fellbach. Seit 2004 ist er außerdem Ehrenpräsident der Initiative D 21.

Am 26. Juni 2003 wurde Erwin Staudt von den Mitgliedern des VfB Stuttgart zum Präsidenten gewählt. Der ehemalige Linksaußen und Vorsitzende des TSV Eltingen engagierte sich lange Jahre über ehrenamtlich im Amateurfußball, ist seit seiner Kindheit ein Fan des VfB und seit Jahren Mitglied beim VfB. Seit September 2003 ist Erwin Staudt erster hauptamtlicher Präsident des VfB Stuttgart. Erwin Staudt ist verheiratet und hat drei Kinder.

P.A. Schwarz, S. Siwczyk, F. Wendl

**Einige Erfahrungen beim Kaltmassivumformen mit Keramik-
werkzeugen**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	12
2	Vorversuche.....	13
3	Hauptversuche.....	14
4	Zusammenfassung und Ausblick	18
5	Literatur.....	19

1 Einleitung

Werkzeuge zum Kaltmassivumformen werden heute üblicherweise aus Werkzeugstählen oder Hartmetallen hergestellt und abschließend mittels CVD- oder PVD-Verfahren mit einer keramischen Hartstoffschicht versehen [1]. Man nutzt hier auf der einen Seite die Zähigkeit und die gute Bearbeitbarkeit der Basiswerkstoffe und andererseits die hohe Verschleißbeständigkeit der Beschichtung. Trotz vorhandener Schichthaftungsprobleme hat sich diese Lösung in der Praxis etabliert. Als Nachteile haben sich Standzeitschwankungen und vor allem die Verwendung hoch additiver Umformöle erwiesen. Letztere bedingen den Einsatz phosphatierter Drähte, um die Schmiermittelhaftung zu gewährleisten. Die Folge davon ist ein intensiver Waschprozess vor der abschließenden Wärmebehandlung, da Phosphatreste die Gefahr von phosphorinduziertem, weichem Ferrit in der Randzone der Bauteile beinhalten. Solche Bauteile müssen verschrottet werden, da sie bei Beanspruchung versagen würden.

Obwohl die günstigen tribologischen Eigenschaften keramischer Werkstoffe seit langem bekannt sind [2, 3], werden Vollkeramiken in der Kaltmassivumformung nur vereinzelt eingesetzt. Ein maßgeblicher Grund dafür ist deren bekannte Sprödigkeit, die konstruktive Restriktionen bedingen und der Einfluss der Endbearbeitung auf die Werkzeugleistung [4]. Da es inzwischen aber erfolgversprechende Versuche beim Tiefziehen und Stanzen von Blechen gibt, ist auch bei Kaltmassivumformfirmen die Notwendigkeit erkannt worden, zur Leistungssteigerung gegebenenfalls keramische Komponenten einzusetzen. Da bei der Schraubenherstellung vor allem die Matrizen unzureichende Standzeiten aufweisen, stehen diese im Blickpunkt für die Verwendung von Keramiken.

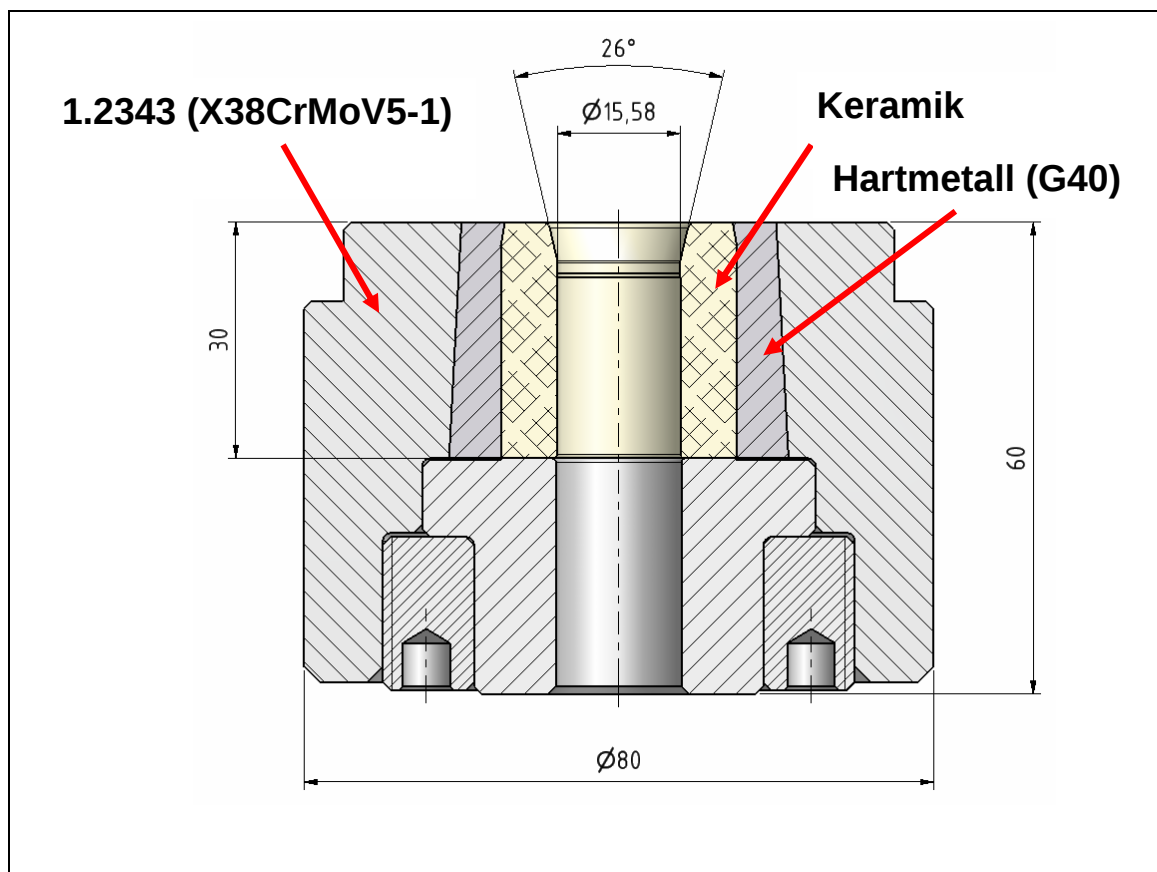
Ziel des vom Land NRW geförderten Forschungsvorhabens war es, die Reduzierung der Matrizen in einer Mehrstufenpresse in Vollkeramik auszuführen und die Eignung im Praxisversuch nachzuweisen.

2 Vorversuche

Für die Vorversuche kam ein Werkzeugaufbau gemäß Abbildung 2 zum Einsatz. Gefertigt wurden M 16 Schrauben aus dem Werkstoff C22 bei 100 Hub pro Minute und einer Umformung $\varepsilon = 10,8 \%$. Dies entsprach einer Durchmesserreduktion von $\varnothing 16,5 \text{ mm}$ auf $\varnothing 15,58 \text{ mm}$. Ausfallkriterium war eine unzulässige Durchmesserergrößerung. Die Versuche liefen teilweise mit unphosphatiertem Draht und ohne Schmierung. Daneben sollte durch FEM-Rechnung überprüft werden, ob der übliche Reduzierwinkel von 26° auch für Keramikmatrizen geeignet ist. Als Keramikwerkstoff diente Siliziumnitrid (Si_3N_4).

Abbildung 1

Werkzeugaufbau für die Vorversuche



Als Ergebnisse der Vorversuche ist festzuhalten:

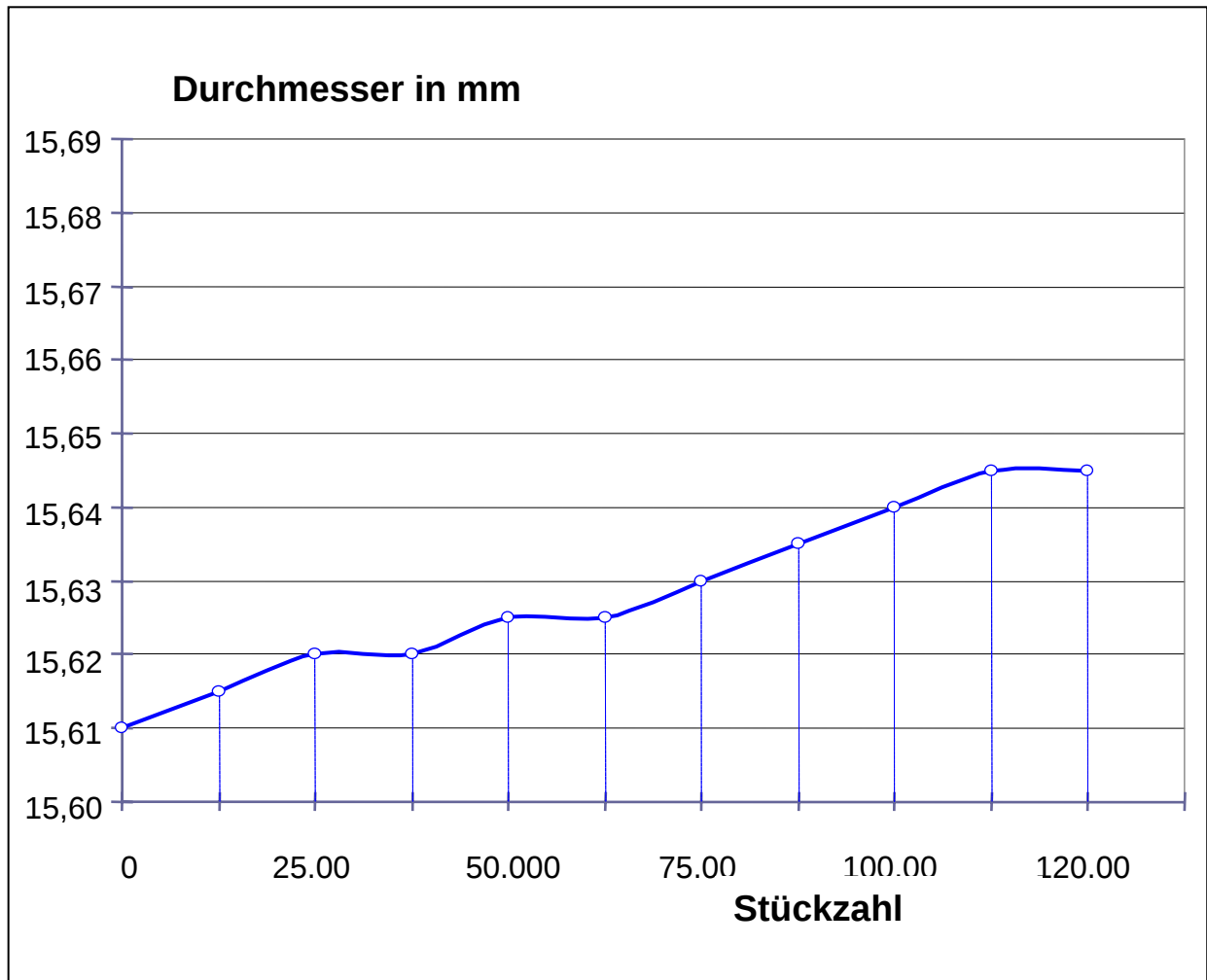
- a) Auf eine Schmierung kann nicht verzichtet werden.
- b) Der Reduzierwinkel muss auf 20° verkleinert werden, wegen dann niedrigerer Umformkräfte.
- c) Gehäuftes Auftreten von Matrizenbrüchen aufgrund unzureichender Einschrumpfung.
- d) Eine unzulässige Durchmesserervergrößerung wird aufgrund von Matrizenbrüchen nicht erreicht.

3 Hauptversuche

Für die **erste Serie** kam dasselbe Werkzeug wie für die Vorversuche zum Einsatz. Der einzige Unterschied lag im Reduzierwinkel, der von 26° auf 20° verkleinert worden war. Gefertigt wurden M 16 Schrauben aus dem Werkstoff C22 bei 100 Hub pro Minute und einer Umformung $\varepsilon = 10,8 \%$. Der Draht war in allen Fällen phosphatiert. Als Schmiermittel diente KFP 96 von der Fa. Bechem, als Keramikwerkstoff Siliziumnitrid.

Das Ergebnis der ersten Versuchsserien ist auf Abbildung 2 zu sehen. Man erkennt, dass praktisch von Anfang an der Durchmesser der Schrauben zunimmt und bei einer Stückzahl von 120.000 Teilen der kritische Durchmesser erreicht wird, so dass der Versuch abgebrochen werden musste.

Abbildung 2

Durchmesseränderung der Schrauben in Abhängigkeit von der Stückzahl

Bei genauerer Untersuchung der Keramikmatrize zeigten sich neben Ausbrüchen am Reduzierknoten auch ein umlaufender Riss (Abbildung 3). Als Ursachen für die Rissbildung wurden zum einen hohe Axialspannungen durch die Reibung wegen der vergleichsweise langen Matrize angenommen, zum anderen Schwachstellen in der Keramik aufgrund langer Presswege beim Verdichten vor dem Sinterprozess. Abhilfe sollte eine Teilung der Keramikmatrize schaffen (Abbildung 4).

Abbildung 3

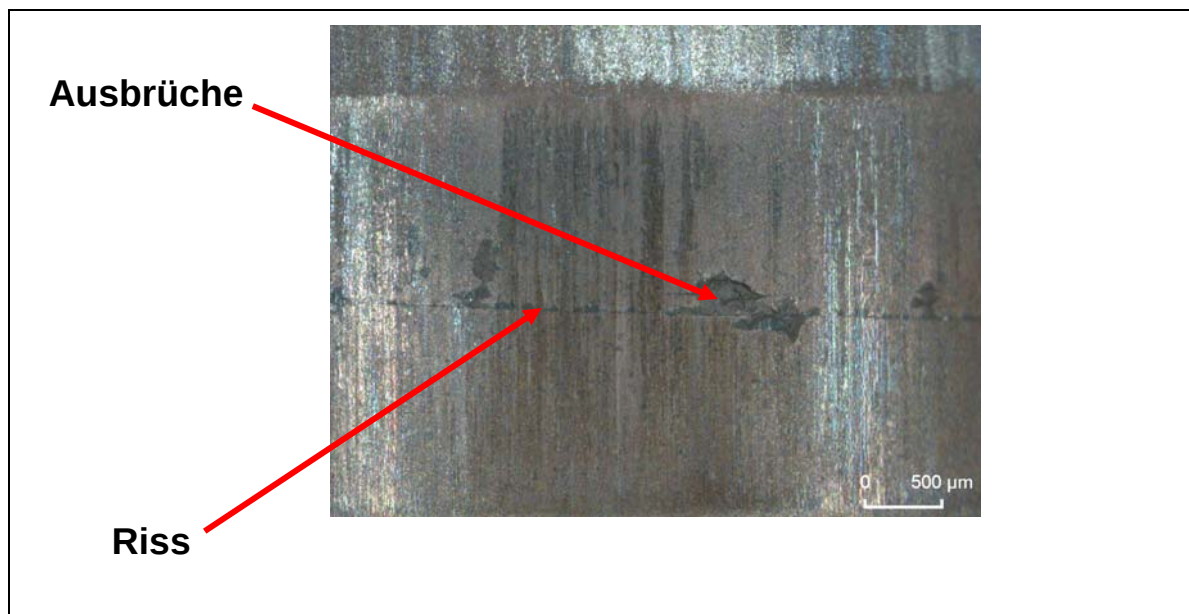
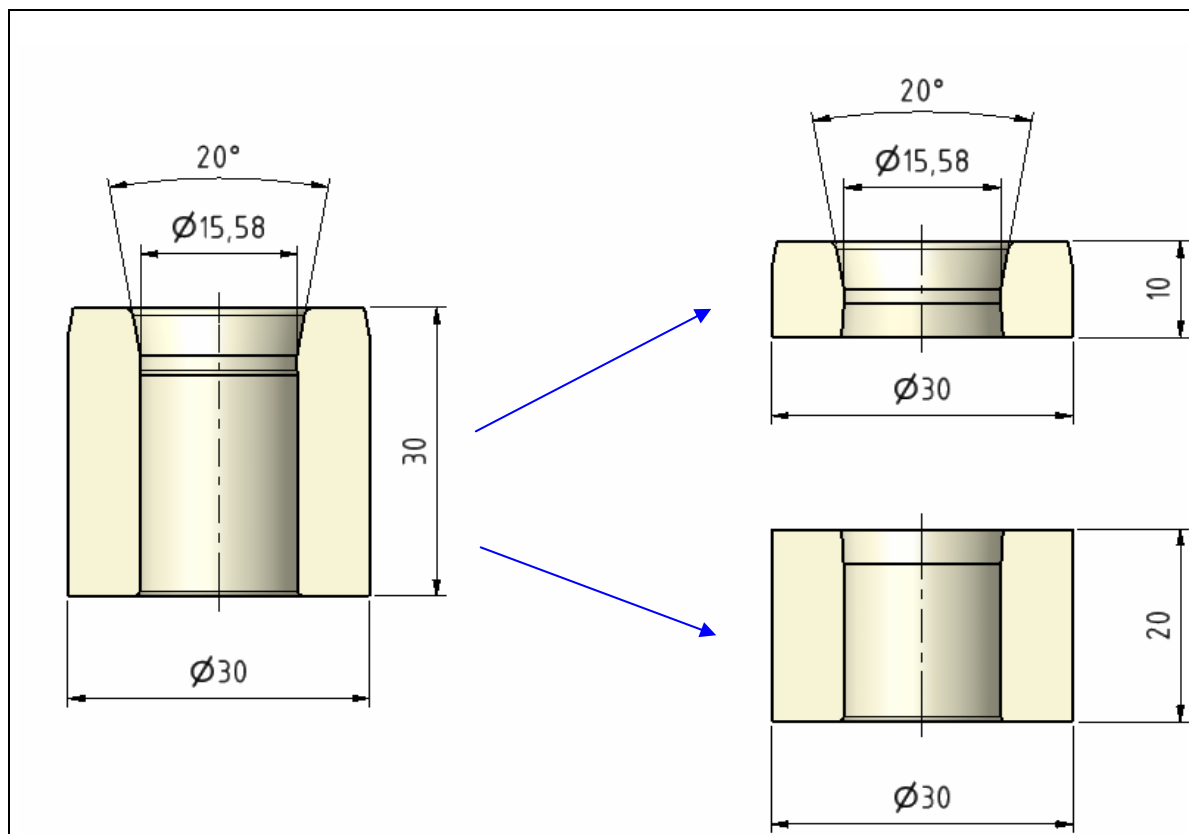
REM-Aufnahme der ausgefallenen Reduziermatrize

Abbildung 4

Geteilte Keramikmatrize aus Siliziumnitrid

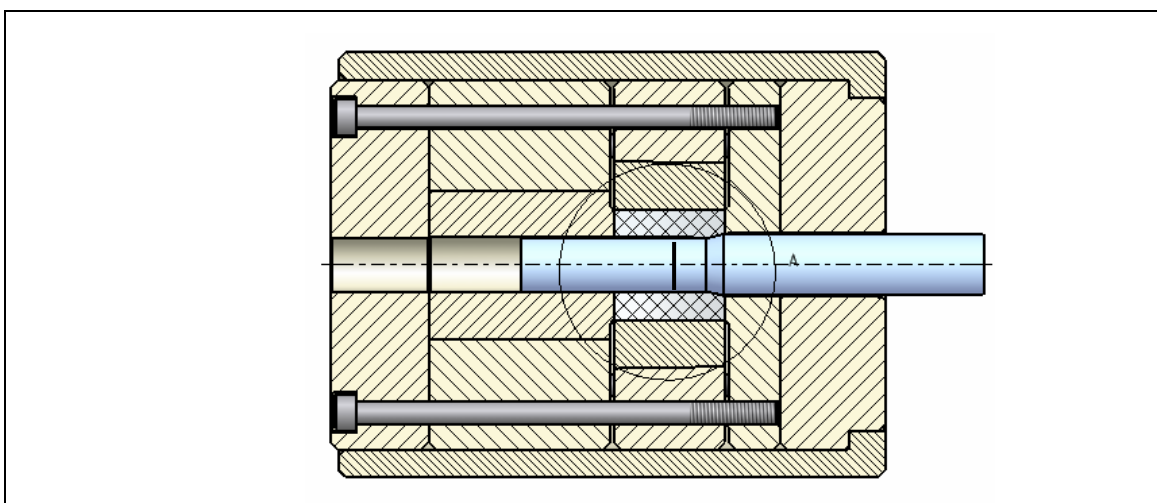
Mit dieser Matrizenänderung erfolgte ein neuer Versuch (**Serie 2**) unter den zuvor beschriebenen Bedingungen. Nach 125.000 Schrauben musste dieser wegen unzulässiger Durchmessergrößerung der Teile abgebrochen werden. Bei Betrachtung der Matrize stellte sich heraus, dass nun nur noch abrasiver Verschleiß und kein Bruch der Matrize vorlag. Als Ursache wurde eine unzureichende Vorspannung der Keramikmatrize angenommen.

Abbildung 5 zeigt den geänderten Werkzeugaufbau, durch den eine höhere axiale Vorspannung bei den nächsten Serien realisiert werden sollte. Nachteilig ist, dass sich dadurch der Einbauraum vergrößert, was konstruktive Maßnahmen nach sich zieht. Nach erfolgtem Umbau wurde die **Serie 3** unter den gleichen Versuchsbedingungen in Angriff genommen. Der Abbruch erfolgte nach der Fertigung von 224.000 Schrauben aufgrund unzulässiger Durchmessergrößerung. Die Untersuchung der Keramikmatrize zeigt kleine Ausbröckelungen und abrasiven Verschleiß am Reduzierknoten. Risse konnten nicht festgestellt werden.

Hinsichtlich der Leistung der Keramikmatrizen (**Serie 3**) ist zu sagen, dass diese sich im Niveau deutlich unter denen von Hartmetallmatrizen (400.000 Teile) einordnen, so dass an einen Ersatz derzeit nicht zu denken ist.

Abbildung 5

Geänderter Werkzeugaufbau zur Erhöhung der axialen Vorspannung



4 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Versuche war es, den Nachweis dafür zu erbringen, dass sich Keramiken auch für die Kaltmassivumformung eignen. Ausgenutzt werden sollte die hohe Härte keramischer Werkstoffe und deren gute tribologische Eigenschaften. Vor allem letzteres nährte die Hoffnung, dass auf Schmierstoffe verzichtet werden könnte.

Dazu wurden Versuche mit unterschiedlichen Werkzeugkonzepten durchgeführt. Als Resümee ist festzuhalten, dass

- a) auf hoch additivierte Umformöle nicht verzichtet werden kann,
- b) auf möglichst kurze Reibwege zu achten ist, um große Axialspannungen zu vermeiden, und
- c) konstruktiv ein hoher Aufwand nötig ist, um große axiale und radiale Vorspannungen aufzubringen.

Unter Berücksichtigung aller getroffenen Maßnahmen sind auch dann die Ergebnisse noch nicht befriedigend. Nach unserer Ansicht ist aber auch das Verschleißsystem nicht vollständig verstanden. Die Ausbröckelungen am Reduzierknoten lassen eher auf eine hier wirkende Oberflächenzerrüttung schließen, als auf abrasiven Verschleiß. Für weitere Versuche wäre eine Mehrstufenpresse mit einer Stufe mehr sicher besser geeignet, da man dann den Draht zuerst mit einer Kuppe versehen könnte, um so die Belastung in der Reduziermatrize zu verringern. Abschließend ist hier dem Land NRW für die Bereitstellung eines Teils der für die Untersuchung notwendigen Mittel zu danken.

5 Literatur

- [1] Eversberg, K.: Verschleißschutzschichten auf Werkzeugen für die Kaltmassivumformung, Symposium „Neuere Entwicklung in der Massivumformung, Stuttgart, 1993.
- [2] Willmann, G.: Anwendungsmöglichkeiten heute verfügbarer Ingenieurkeramik, ZwF-Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 82 (1987), S. 386 – 391.
- [3] Kraus, J.: Ultima Ratio - Hochleistungskeramik ist ein wichtiger Werkstoff für technisch anspruchsvolle Anwendungen, Maschinenmarkt 34 (2000), S. 18 – 19.
- [4] König, W.: Optimierte Bearbeitung von Hochleistungskeramiken, Tagungsband, Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik, Aachener Werkzeugmaschinenkolloquium, VDI-Verlag, 1990.

Horst Bürkle, Rainer Menge

**Berechnung von Tänzermomenten für spezielle
Tänzerkonstruktionen**

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung und Lösungsweg	22
2 Ableitungen	23
3 Umsetzung in SPS-Daten	25
4 Schlussfolgerungen	26

Zusammenfassung

Beim Mehrfachwalzen wird bei hohen Ansprüchen an die Drahttoleranz mit speziellen Tänzern zwischen den einzelnen Gerüsten gearbeitet. Um auch bei Regelvorgängen die Zugspannung im Draht konstant zuhalten, muss das Tänzermoment in Abhängigkeit vom Schwenkwinkel geregelt werden. Hierzu wurde aus den geometrischen Beziehungen die Winkelbeziehung für die entsprechenden Parameter abgeleitet. Diese Winkelabhängigkeit kann in Polynomform direkt in der SPS programmiert werden. Damit ist es möglich, das Regelverhalten des Tänzers wesentlich zu verbessern und die Drahttoleranz in der Breitung einzuengen.

Summary

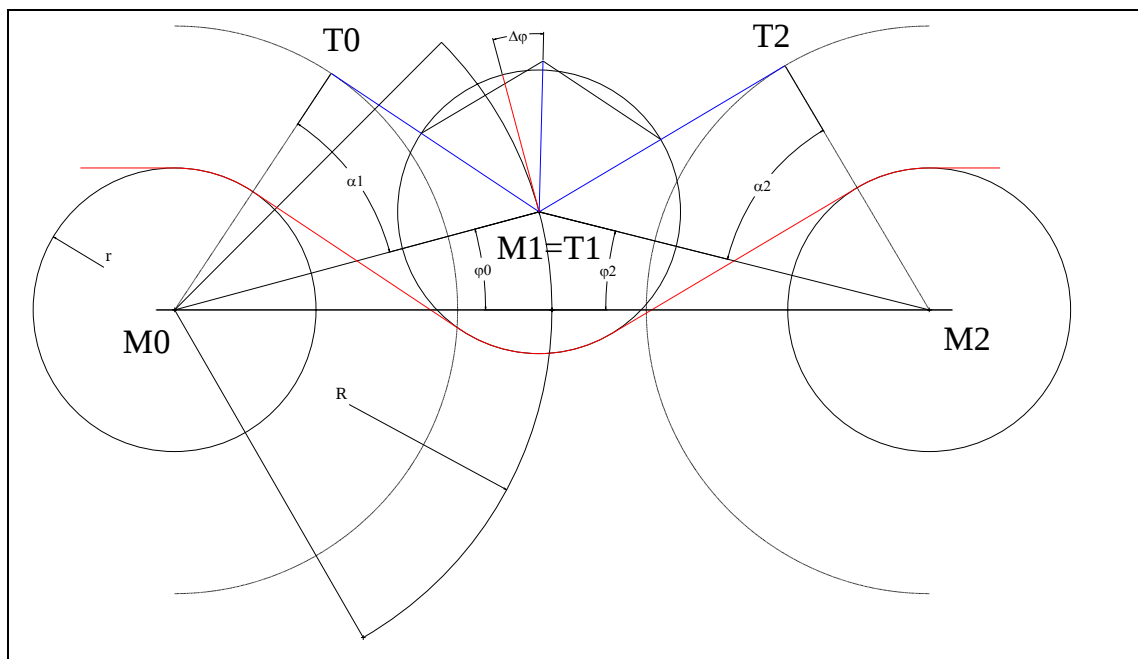
In case of great demands on the wire tolerance for multiple rolling, you usually work with special dancers between the individual stands. In order to keep the tension in the wire constant also for regulating processes, the dancer moment must be controlled in dependence of the pivoting angle. For this, the angular relation for the corresponding parameters has been derived from the geometric relations. This angular dependence can be programmed directly in the PLC in polynomial form. And so, it is possible to considerably improve the control performance of the dancer and to restrict the wire tolerance regarding broadside rolling.

1 Aufgabenstellung und Lösungsweg

Beim Walzen mit mehreren Gerüsten und hohen Toleranzansprüchen an den Draht wird ein Tänzer als Regelglied zwischen den einzelnen Gerüsten benötigt. Der Tänzer ist so aufgebaut, dass der Draht zwischen zwei festen Rollen mit einer beweglichen Rolle gespannt werden kann. Das Tänzermoment ist abhängig vom Schwenkwinkel der Rolle, vom Tänzergewicht (Rolle + Arm) sowie von der einzustellenden Zugkraft bzw. Zugspannung im Draht. Zielstellung ist, über das regelbare Tänzermoment in Abhängigkeit vom Schwenkwinkel eine konstante Zugspannung auf den Draht zu geben. Aus den mathematischen Ableitungen sollen für die SPS verwertbare Näherungsformeln (z.B. Polynome) erstellt werden.

Abbildung 1

Prinzipskizze



Alle Rollen haben den Radius r . Die Mittelpunkte sind M_0 , M_1 und M_2 . Die Rollen 0 und 2 sind fest und haben den Abstand $2R$. Die Rolle 1 schwenkt mit dem Winkel φ_0 um M_0 auf dem Radius R und gleicht damit Geschwindigkeitsveränderungen zwischen den Walzen aus. Zur Regelung werden die Tänzerlage und die Änderungsgeschwindigkeit der Tänzerlage ausgewertet.

Bei der Berechnung wurden folgende Ansätze berücksichtigt:

- Ermittlung der Drahttangente über eine Hilfskonstruktion (Satz des Thales)
- Die Hilfskreise wurden jeweils auf die festen Rollen gelegt, damit kann mit nur drei Punkten gerechnet werden
- Bildung der normierten Drahttangente und Ermittlung der Resultierenden (damit sind beide Drahtrichtungen gleichberechtigt)
- Ermittlung des Differenzwinkels zwischen Resultierender und Momentenrichtung
- Bildung der Kraftbilanz bzw. Momentbilanz in Richtung der Auslenkung zur Bestimmung des Gegenmomentes

2 Ableitungen

Es gilt:

$$\alpha_1 = \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{R}\right)$$

$$\varphi_{\text{Grenz}} = \frac{\pi}{2} - \alpha_1$$

φ_{Grenz} ist der Schwenkwinkel, bei dem der Draht waagrecht verläuft.

Die Mittelpunkte der Kreise bestimmen sich wie folgt:

$M_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$M_{1_i} = R \cdot \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{0_i}) \\ \sin(\varphi_{0_i}) \end{pmatrix}$	$M_2 = \begin{pmatrix} 2 \cdot R \\ 0 \end{pmatrix}$
--	--	--

Die Tangentenpunkte T0, T1 und T2 lassen sich nach folgenden Gleichungen berechnen:

$T_{0_i} = 2 \cdot r \cdot \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{0_i} + \alpha_1) \\ \sin(\varphi_{0_i} + \alpha_1) \end{pmatrix}$	$T_{1_i} = R \cdot \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{0_i}) \\ \sin(\varphi_{0_i}) \end{pmatrix}$	$T_{2_i} = \begin{pmatrix} 2 \cdot R + 2 \cdot r \cdot \cos(\pi - \varphi_{2_i} - \alpha_{2_i}) \\ 2 \cdot r \cdot \sin(\pi - \varphi_{2_i} - \alpha_{2_i}) \end{pmatrix}$
--	--	--

mit

$$\alpha_{2_i} = \arccos\left(\frac{2 \cdot r}{|M_{1_i} - M_2|}\right)$$

$$\varphi_{2_i} = \arccos\left(\frac{M_2 - M_{1_i}}{|M_2 - M_{1_i}|} \cdot \frac{M_2 - M_0}{|M_2 - M_0|}\right) \cdot \text{sign}(\varphi_{1_i})$$

Damit ergeben sich die Tänzervektoren $t1$ und $t2$ aus den berechneten Endpunkten. Da die Drahtspannung an beiden Seiten der Rolle gleich ist, müssen die Tänzervektoren normiert werden. Daraus lässt sich dann die Draht-Resultierende berechnen, die mit den entsprechenden Gegenkräften Gewichtskraft und Tänzerkraft verknüpft werden muss.

$$t1_i = T0_i - T1_i$$

$$t1n_i = \frac{T0_i - T1_i}{|T0_i - T1_i|}$$

$$t2_i = T2_i - T1_i$$

$$t2n_i = \frac{T2_i - T1_i}{|T2_i - T1_i|}$$

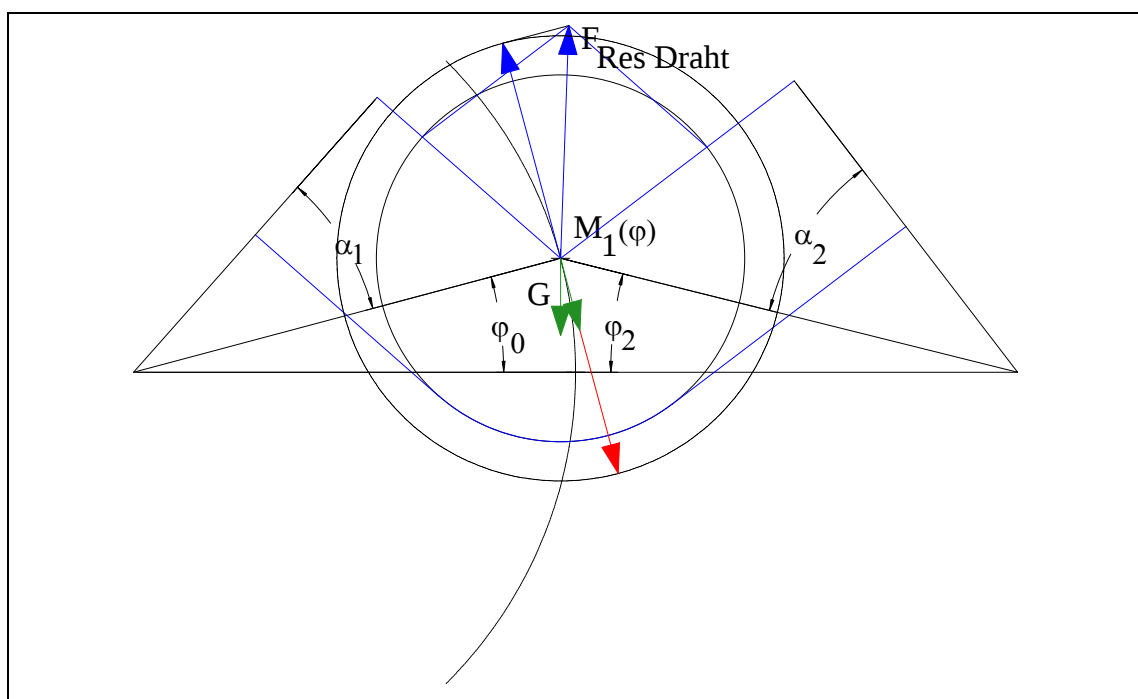
$$tres_i = t1_i + t2_i$$

$$Fres_i = tres_i \cdot A_{\text{Draht}} \cdot \sigma_{\text{Draht}}$$

Die Darstellung dieser Verhältnisse erfolgt in Abbildung 2.

Abbildung 2

Darstellung der resultierenden Kräfte



κ ist der Winkel, den die Drahtresultierende mit der Abszisse einschließt.

$$tres_i = \begin{pmatrix} xres_i \\ yres_i \end{pmatrix}$$

$$\kappa_i = \text{if} \left(xres_i \neq 0; a \tan \left[\frac{yres_i}{xres_i} \right]; \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\Delta\varphi_i = \varphi0_i + \frac{\pi}{2} - \kappa_i$$

$$M_{Motor}(\varphi0_i) = (F_{Res}(\varphi0_i) \cdot \cos(\Delta\varphi(\varphi0_i)) - \left(m_{Rolle} + \frac{m_{Arm}}{2} \right) \cdot g \cdot \cos(\varphi0_i)) \cdot R$$

Damit können über den Drahtquerschnitt die Spannungen, Kräfte und Momente bestimmt werden.

3 Umsetzung in SPS-Daten

Die entsprechenden Abhängigkeiten vom Laufwinkel $\varphi0_i$ können nun über die Polynome dargestellt werden:

m1 – Masse Rolle 1

m2 – Masse Tänzerarm

$$\Delta\varphi = a_0 + a_1 \cdot \varphi0 + a_2 \cdot \varphi0^2 + a_3 \cdot \varphi0^3$$

$$|t_{res}| = b_0 + b_1 \cdot \varphi0 + b_2 \cdot \varphi0^2 + b_3 \cdot \varphi0^3$$

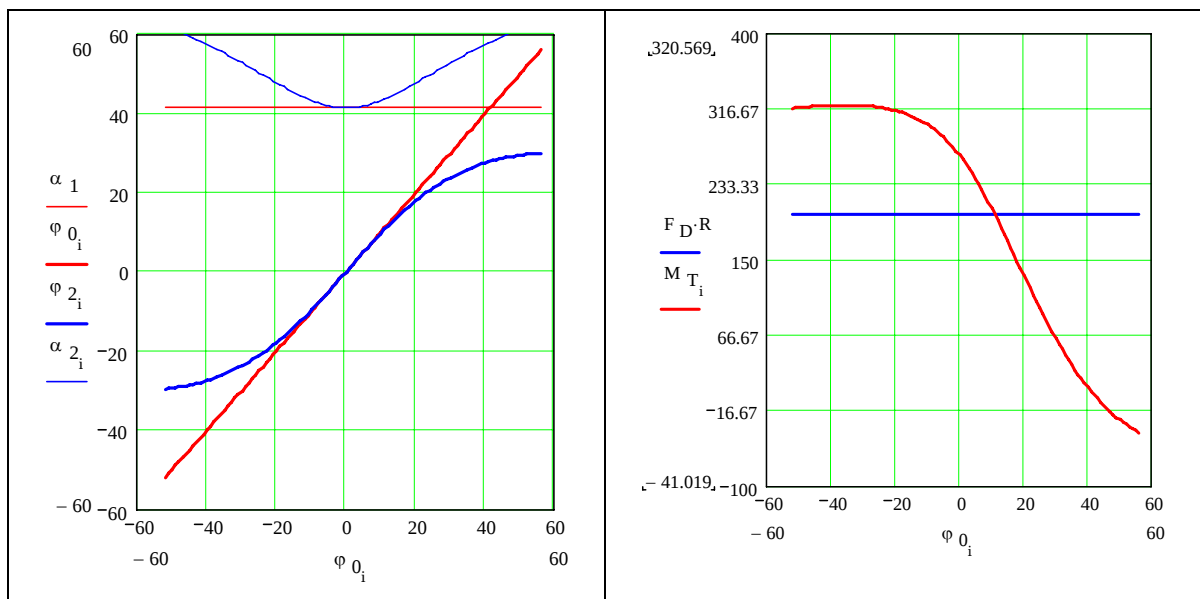
$$M_T(F_D, \varphi0) = R \cdot \begin{pmatrix} F_D \cdot (b_0 + b_1 \cdot \varphi0 + b_2 \cdot \varphi0^2 + b_3 \cdot \varphi0^3) \cdot \cos(a_0 + a_1 \cdot \varphi0 + a_2 \cdot \varphi0^2 + a_3 \cdot \varphi0^3) \\ - \left(m1 + \frac{m2}{2} \right) \cdot g \cdot \cos(\varphi0) \end{pmatrix}$$

$$\varphi0 = \varphi0_i$$

Der Vorteil ist, dass mit diesen Gleichungen die geometrischen Verhältnisse eindeutig beschrieben werden. Mit den zugehörigen Tänzerkräften bzw. Momenten können die einzelnen Stufen programmiert werden. Auch die Arbeitsbereiche für den einzelnen Tänzer lassen sich eingrenzen.

Die Arbeitsbereiche können aus den nachfolgenden Diagrammen entnommen werden:

Abbildung 3

Abhängigkeit der Winkel und Momente von der Auslenkung

Randbedingungen:

$r = 150 \text{ mm}$; $R = 400 \text{ mm}$; $m_1 = 6 \text{ kg}$; $m_2 = 5.7 \text{ kg}$; Drahtkraft $F_D = 500 \text{ N}$

Im Bereich $-60 \dots -20^\circ$ ändert sich das Motormoment nur geringfügig. Im Bereich $-20 \dots 20^\circ$ erfolgt eine starke Änderung. Wenn hier nicht das Motormoment entsprechend korrigiert wird, ändern sich die Zugverhältnisse im Draht deutlich und führen zu Breitenschwankungen.

4 Schlussfolgerungen

Mit dem vorgestellten Modell lassen sich die Tänzer-Momente bei entsprechenden Walzwerken sehr genau einstellen und sorgen auch bei Abweichungen von der Arbeitslage für eine nahezu konstante Zugspannung im Draht. Damit kann die Breitungstoleranz wesentlich verbessert werden. Da sich die Parameter aus reinen geometrischen Größen ableiten, können die ermittelten Polynome im gesamten Abmessungs- bzw. Kraftbereich eingesetzt werden.

Bei stärkeren Beschleunigungen oder Verzögerungen entstehen zusätzliche Kräfte am Draht, die auch bei dieser Regelung noch zu geringen Abweichungen führen.

Michael Schiller

LEXT – Hochauflösende 3-dimensionale qualitative und quantitative Oberflächenanalyse mit konfokaler UV-Laser Mikroskopie

Inhaltsverzeichnis

1	Auflösungsgrenzen überschreiten.....	29
2	Präzise 3-D Messungen – schnell und einfach durchgeführt	30
3	Rauhigkeitsmessung – einfachere Ergebnisinterpretation, höhere Reproduzierbarkeit.....	31
4	Automatische Messabläufe programmieren.....	32
5	Aufregende neue Beobachtungsmethoden - 3-D Echtfarbenbilder und Laser Differential Interferenzkontrast (LDIC)	32

Zusammenfassung

Olympus LEXT ist ein neuartiges konfokales Laser Scanning Mikroskop, das 3-dimensionale, hochpräzise Messungen und hoch aufgelöste Oberflächendarstellungen in Echtzeit ermöglicht. Proben können direkt ohne aufwändige Vorbehandlung auf den Mikroskoptisch gelegt werden. LEXT erreicht eine wesentlich höhere Auflösung als konventionelle optische Systeme, bietet jedoch die ganze Vielfalt der Beobachtungsmethoden, so dass Proben wesentlich schneller und genauer untersucht werden können als mit bekannten 3-D Messsystemen.

Summary

Olympus has developed LEXT - a new confocal laser scanning microscope for ultra-precise measurement and observation with the highest levels of reliability. No sample preparation is required, and samples can be placed directly on the microscope stage as they are. Both 3D observation and high-precision 3D measurements are possible in real time. With much higher resolution than conventional optical devices but just as many different observation methods, every user can make quicker, more accurate specimen analysis - all based on a strict traceability system.

1 Auflösungsgrenzen überschreiten

LEXT verwendet eine niedrigere Wellenlänge von 408 nm in Kombination mit konfokalem Scanning, um die bekannten Auflösungsgrenzen optischer Beobachtungssysteme zu überschreiten. Durch die Entwicklung eines speziellen optischen Systems, das die sonst bei niedrigen Wellenlängen üblichen starken Aberrationen minimiert, ohne die Transmission zu verschlechtern, wird beim LEXT eine bisher unerreichte Bildqualität und Empfindlichkeit erreicht.

Die Auflösung wird nochmals durch die konfokale Scanning Technologie gesteigert. Bei dieser Technik wird die Probe Punkt für Punkt mit einem Laserstrahl abgetastet. Auf der Detektionsseite (Photomultiplier) sorgt eine spezielle Lochblende dafür, dass von der Probe zurückreflektierte Strahlen, die nicht im Fokus des Objektivs sind, vor dem Detektor abgeblockt werden. Dadurch nimmt der Photomultiplier nur Intensitäten von Signalen aus der Fokusebene auf. 3-dimensionale Informationen der Probe erhält der Anwender durch die Bewegung des Objektivs in Z-Richtung (Höhe); die jeweilige Position wird durch einen präzisen Maßstab ermittelt. So entstehen Intensitätsbilder von jeder abgetasteten Ebene der Probe, die sich mit Hilfe der jeder Ebene zugeordneten Höheninformation zu 3-dimensionalen Bildern zusammensetzen lassen.

LEXT verwendet einen neuartigen XY Scanner – der aus einem mikroelektromechanischen System (MEMS) besteht, das von Olympus speziell für LEXT entwickelt wurde. Durch die geringeren bewegten Massen beim MEMS Scanner kann der Scannprozess schneller erfolgen und liefert zudem wesentlich reproduzierbarere Messergebnisse als herkömmliche Scanner. Die Steuerung der Z-Achse ist durch die Verwendung eines Linearmaßstabs mit einer Auflösung von 5nm extrem genau. Für jeden Oberflächenpunkt der Probe wird beim LEXT eine Intensitäts- (Photomultiplier-) Höhenkurve (Linearmaßstab) berechnet. Aus dieser Kurve kann mit einer komplexen Formel die Lage eines jeden Punktes mit einer Genauigkeit ermittelt werden, die weit höher ist als die optische Z-Auflösung des Objektivs.

Das Ergebnis ist eine weltweit führende Auflösung, mit der Linienabstände von nur 0,12 μm und Höhenunterschiede von 0,01 μm abgebildet werden können.

Das ermöglicht ultra-präzise Messungen selbst an feinstbearbeiteten Oberflächen bei einer erstaunlichen Reproduzierbarkeit von $3\sigma \cdot n-1 = 0.02\mu\text{m}$ (Höhenmessung) und $3\sigma \cdot n-1 = 0.05 + 0.002L\mu\text{m}$ (Längenmessung; L = gemessene Länge). Die Zuverlässigkeit der gemessenen Werte basiert auf einem strikten Rückverfolgbarkeitssystem, das den Standards der Japan Quality Assurance Organization, der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Deutschland und des United Kingdom Accreditation Service entspricht.

Abbildung 1

LEXT – Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop



2 Präzise 3-D Messungen – schnell und einfach durchgeführt

Anders als die meisten anderen Geräte auf dem Markt, die nur von Spezialisten bedient werden können, überzeugt LEXT mit einer herausragenden Bedienerfreundlichkeit und Messgeschwindigkeit durch ein einzigartiges Bedien- und Anzeigekonzept. Nur LEXT verfügt über eine 2-Kanal-Live-Bild Anzeige mit der Möglichkeit, sowohl ein konventionelles farbiges Mikroskopbild als auch ein Konfokalbild gleichzeitig auf dem Monitor anzuzeigen. Dadurch wird die Fokus-

sierung auf die Probe und das Auffinden der gewünschten Stelle auf der Probe so leicht und schnell wie bei einem gewöhnlichen Lichtmikroskop. Nachdem der Scanbereich durch Wahl der Vergrößerung und Fokussierung auf den untersten und obersten Punkt der Probe festgelegt ist, läuft der Scanprozess automatisch ab.

Um auch das Abscannen von Proben mit stark unterschiedlichen Reflexionscharakteristiken innerhalb des zu untersuchenden Bereichs zu ermöglichen (z.B. Kupferkontakte auf einer gedruckten Schaltung), verfügt LEXT über einen „Enhanced“ Modus, der selbst solche Proben problemlos aufnimmt. Mit der gleichen Funktion können auch geneigte Flächen, die den Laserstrahl nur schwach reflektieren und für konventionelle 3-D Messsysteme problematisch sind, detektiert werden. Sind die 3-dimensionalen Messdaten einmal aufgenommen, stehen eine Vielzahl von Messfunktionen zu Verfügung, um die Form und Feinstruktur der Oberfläche zu analysieren. Höhen, Entfernungen, Winkel und Volumen können einfach bestimmt und dokumentiert werden.

3 Rauigkeitsmessung – einfachere Ergebnisinterpretation, höhere Reproduzierbarkeit

Im Vergleich zu taktilen Rauheitsmessgeräten erlaubt LEXT nicht nur die Bestimmung von Rauheitswerten auf einer Linie, sondern sogar auf einer frei wählbaren Fläche - und das völlig berührungslos. Die genaue Festlegung des Messbereichs kann mit dem Mauszeiger direkt auf dem Höhenbild erfolgen, das auf dem Monitor angezeigt wird. Die Interpretation von Rauheitsdaten wird wesentlich einfacher, da die Oberfläche jederzeit 3-dimensional angezeigt werden kann. LEXT bietet eine Reihe von Funktionen um Oberflächenform, Welligkeit und Rauigkeit zu trennen.

4 Automatische Messabläufe programmieren

Der optional erhältliche motorische XY-Tisch ermöglicht die Programmierung automatischer Bildaufnahme und Messabläufe. Bildaufnahme und Messprozeduren können mit einem Makrorekorder einfach aufgenommen und danach für die weitere Verwendung abgespeichert werden. Der Tischnavigator erlaubt die Programmierung von Netzstrukturen oder die Abspeicherung individueller Messpunkte. Durch diese erweiterte Funktionalität kann das LEXT auch effizient bei der statistischen Prozesskontrolle eingesetzt werden.

5 Aufregende neue Beobachtungsmethoden - 3-D Echtfarb-bilder und Laser Differential Interferenzkontrast (LDIC)

Defekte in Farbfiltern oder Korrosion an Metalloberflächen kann man in der Regel nur schwer in monochromatischen Darstellungen sichtbar machen. LEXT ermöglicht die 3-dimensionale Echtfarbdarstellung und damit eine wesentlich umfangreichere Analyse als beispielsweise mit einem Scanning Elektronenmikroskop (SEM). Dies wird durch die gleichzeitige Aufnahme der Höheninformation (Konfokales System / Photomultiplier) und der Farbinformation (Mikroskopsystem / CCD) erreicht. Durch einen speziellen Algorithmus können beide Informationen präzise zu einem Bild überlagert werden.

Differentieller Interferenz Kontrast (DIC) ist eine verbreitete Methode der Lichtmikroskopie, um extrem kleine Oberflächenunregelmäßigkeiten zu kontrastieren. Durch Kombination mit dem 408 nm Laser und dem hochgenauen Z-Scan des LEXT entstehen brillante 3-D Bilder, die bisher bekannte Qualitäten konventioneller Lasermikroskope bei weitem übersteigen.

Mit diesen überragenden Möglichkeiten zur Darstellung und Vermessung gibt LEXT der Metrologie eine neue Dimension – für effizientere Fertigungsprozesse, für Produkte mit höherer Zuverlässigkeit, für das bessere Verstehen von Oberflächen und die Entdeckung neuer Erkenntnisse, die Ingenieuren helfen, neue Materialien mit besseren Eigenschaften zu entwickeln.

Andreas Baum

**Anwendungsbeispiele und Belastungstests laserbeschichteter
Werkzeuge für die Kaltumformung**

Inhaltsverzeichnis

1	Vorgehensweise bei der Entwicklung neuer Anwendungen.....	36
1.1	Die Prozesskette beim Laserauftragschweißen	36
1.1.1	Arbeitsinhalte der Projektphasen.....	37
1.1.2	Die „Phase 2“ im Detail	38
2	Ermittlung technologischer Kennwerte an Auftragschichten	42
2.1	Der Schlagbiegeversuch	43
2.2	Der Dilatometerversuch.....	44
2.3	Dichtebestimmung und Porosität.....	45
2.4	Quantitative Gefügeanalyse	46
2.5	Bearbeitungseigenschaften	47
2.5.1	Korund.....	47
2.5.2	Kubisches Bornitrid (CBN)	48
2.5.3	Diamant.....	49
2.6	Verschleißprüfung „Stift-Scheibe“	51
3	Aktuelle Anwendungsbeispiele	53
3.1	Beispiel 1: Walzen	53
3.1.1	Herstellung und Eigenschaften der Beschichtung	53
3.1.2	Prüfung der Walzen.....	54
3.2	Beispiel 2: Stoßwerkzeug	55
3.2.1	Herstellung der Beschichtung.....	55
3.2.2	Beispiele aus den Optimierungen des Schichtauftrags	56
3.2.3	Verschleißerscheinungen an den Werkzeugen	57
3.2.4	Prüfung der Werkzeuge	58
4	Ausblick	60

Zusammenfassung

Das Laserauftragschweißen ist ein Beschichtungsverfahren mit dem unter anderem sehr harte und verschleißfeste Schichten aufgebracht werden können. Aufgrund der sehr flexiblen Prozessführung in Bezug auf die Auftragsgeometrien und die Schichteigenschaften gibt es eine Vielzahl potentieller Anwendungsgebiete.

Für einen erfolgreichen industriellen Einsatz dieses Verfahrens müssen jedoch anwendungsspezifische Belastungen und Verschleißmechanismen näher beleuchtet werden, auf die die eingesetzten Schichtwerkstoffe abgestimmt werden müssen. Die Schichtwerkstoffe können anhand ihrer Werkstoffkennwerte charakterisiert und auf die Eignung für die entsprechenden Anwendungen überprüft werden. Weiterhin ist eine reproduzierbare Qualität der Auftragschichten erforderlich, um das Verfahren für industrielle Anwendungen zu qualifizieren. Im Rahmen dieses Beitrags wird dieses Vorgehen an aktuellen Anwendungsbeispielen erläutert.

Summary

Laser-deposition-welding is a coating technique to apply very hard and wear resistant coatings. Because of the very flexible process conduct refer to the geometry and the coating properties there is a big field of potential applications.

An successful industrial application of the technique demands a custom-designed analysis of stresses and strains and wear mechanisms, which the layer-materials are aligned with. The layer-materials can be characterized by means of material characteristics and thus be checked on its applicability for the application. Furthermore a reproducible quality of the coating is demanded in order to qualify the technique for industrial applications. Within this contribution this proceeding will be illustrated by actual application examples.

1 Vorgehensweise bei der Entwicklung neuer Anwendungen

Die Entwicklung und Applikation von Verschleißschutzschichten erfordert eine wohl überlegte Vorgehensweise. Dabei gilt es, nicht nur das zu beschichtende Objekt, sondern auch das gesamte System im Detail zu betrachten. Daher ist es sinnvoll den gesamten Objektlebenszyklus von der Herstellung bis zur Verschrottung auf relevante Anforderungen zu untersuchen. Insbesondere die Analyse des Fertigungsprozesses und der Einsatzbedingungen führt häufig zu Restriktionen, die bei reiner Objektbetrachtung zunächst nicht berücksichtigt werden.

1.1 Die Prozesskette beim Laserauftragschweißen

Zur Strukturierung des Entwicklungsprozesses wird dieser in 6 Phasen aufgeteilt, die, jede für sich, klar abgegrenzte, aufeinander aufbauende Inhalte besitzen.

Abbildung 1

Prozesskette beim Laserauftragschweißen

Phase 1	Analyse und Konzeption
Phase 2	Definition und Verifizierung potentieller Beschichtungswerkstoffe
Phase 3	Applikationsvorbereitung
Phase 4	Applikation
Phase 5	Prüfung und Praxistest
Phase 6	Optimierung

1.1.1 Arbeitsinhalte der Projektphasen

Im Rahmen der **Phase 1** wird die Anwendung zunächst im Detail analysiert. Dies erfolgt durch die grundlegende Analyse des zu beschichtenden Objekts, sowie dessen Einsatzumgebung und -bedingungen. Mit den Erkenntnissen aus dieser Ist-Zustandsanalyse werden Anforderungen an die Beschichtungen festgelegt. Dies sollte überwiegend in Form quantitativer technologischer Kennwerte erfolgen, die dann durch entsprechende Prüfungen nachgewiesen werden können. Das Resultat der Phase 1 ist ein Lastenheft, welches die Arbeitsinhalte der folgenden Phasen definiert.

Die **Phase 2** behandelt in erster Linie die Beschichtungswerkstoffe. Dabei dienen die im Lastenheft spezifizierten technologischen Kennwerte als Basis zur Eingrenzung potentieller Beschichtungswerkstoffe. Im ersten Schritt wird hierbei der Beschichtungswerkstoff isoliert betrachtet und ggf. mit Musterproben auf seine Eignung überprüft. In den meisten Fällen erfüllen mehrere Beschichtungswerkstoffe die spezifizierten Anforderungen in Form technologischer Kennwerte. Jedoch gilt es hier, auch die speziellen Bedingungen des gesamten Systems mit in Betracht zu ziehen, woraus meist zusätzliche Einschränkungen resultieren.

In einem weiteren Schritt werden die ausgewählten Beschichtungswerkstoffe auf dem entsprechenden Grundwerkstoff appliziert und die Eigenschaften des Verbundes durch geeignete Prüfungen untersucht.

In **Phase 3** werden Vorbereitungen zur Kombination des ausgewählten Beschichtungswerkstoffs mit dem realen Objekt getroffen. Dabei stehen u.a. Fragen nach der optimalen Beschichtungsstrategie oder den notwendigen Vorbereitungen am Objekt im Vordergrund. Weiterhin enthält diese Phase Arbeitsinhalte zur Anlagenvorbereitung. Dazu zählen z.B. ggf. Konstruktion und Bau von Vorrichtungen oder die Anlagenprogrammierung, etc.

In der **Phase 4** wird die Beschichtung erstmals am realen Objekt appliziert. Dieser Beschichtungs-„Prototyp“ wird dann ggf. der Endbearbeitung zugeführt und in **Phase 5** mit definierten Prüfungen oder Praxistests auf seine Tauglichkeit überprüft.

Im Rahmen der **Phase 6** wird über Optimierungsmöglichkeiten nachgedacht, die meist durch eine Iteration der entsprechend „zuständigen“ Phase (Phase 1 - 4) umgesetzt werden.

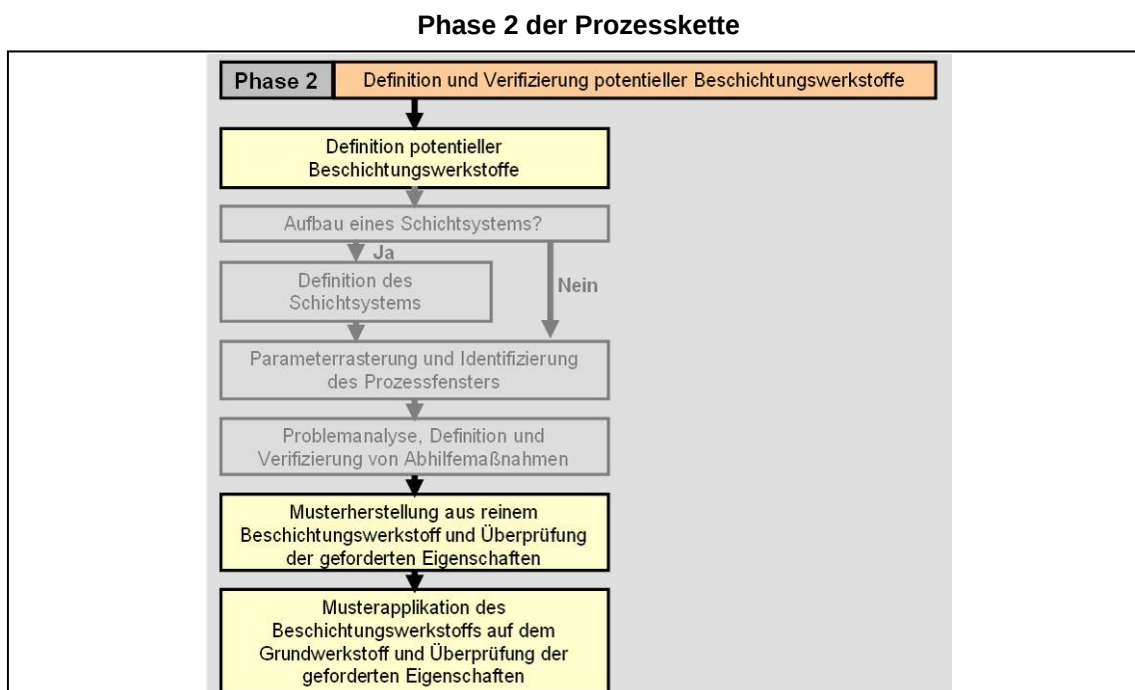
1.1.2 Die „Phase 2“ im Detail

Die Phase 2 stellt eine wesentliche Phase der Prozesskette dar. Der Beschichtungswerkstoff entscheidet im späteren Einsatz des Objekts über den Erfolg der Entwicklung. Daher muss bei der Auswahl der Beschichtungswerkstoffe sehr sorgfältig vorgegangen werden.

Abbildung 2 zeigt die einzelnen Schritte innerhalb dieser Phase. Die für die folgenden Betrachtungen relevanten Schritte sind dabei gelb hervorgehoben.

Die Auswahl potentieller Beschichtungswerkstoffe erfolgt überwiegend anhand der technologischen Kennwerte, die bei bereits eingesetzten Werkstoffen in einer Datenbank hinterlegt sind.

Abbildung 2

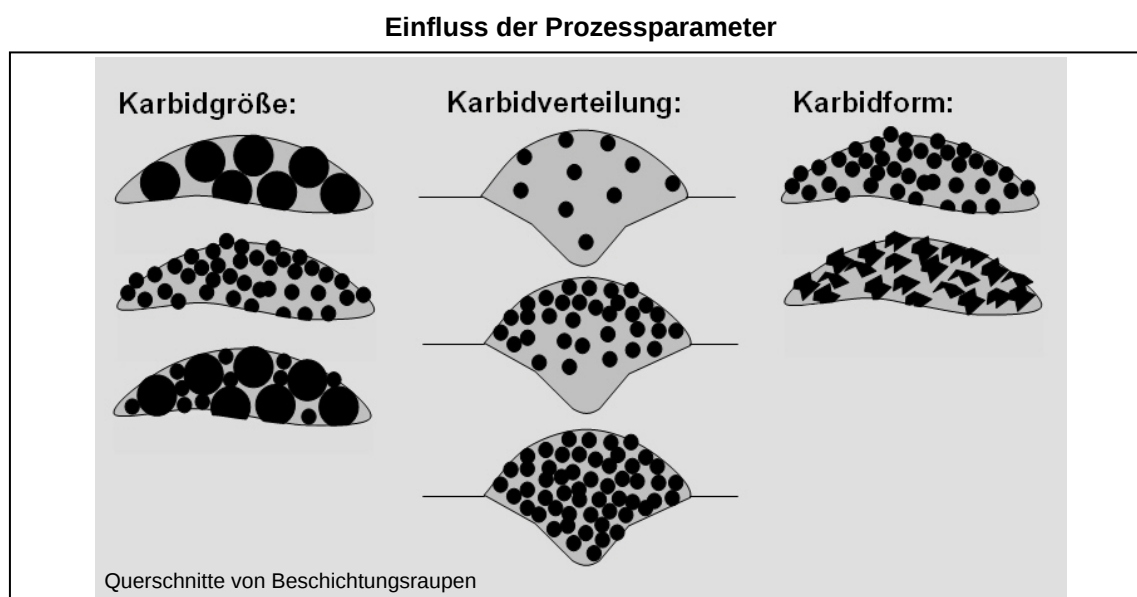


Beim Laserauftragschweißen kann der innere Schichtaufbau durch die Prozessparameter stark beeinflusst werden. Aus diesem Grund vervielfältigen sich die Möglichkeiten im ersten Schritt („Definition potentieller Beschichtungswerkstoffe“) der Phase 2, da im Prinzip jedes Parameterset bei gleichem Beschichtungswerkstoff andere Eigenschaften besitzt.

Aber welche Möglichkeiten der Beeinflussung des inneren Aufbaus ergeben sich nun konkret durch die Laserbearbeitung?

Dieser Beitrag behandelt ausschließlich die Beschichtung mit Verbundwerkstoffen (hier Hartmetall). Hartmetall besteht aus Karbiden als Verschleißträger und einer Bindematrix. Abbildung 3 zeigt die Einflussmöglichkeiten auf den inneren Aufbau, die sich durch Variation der Prozessparameter und den Einsatz unterschiedlicher Beschichtungswerkstoffe ergeben.

Abbildung 3



Die in Abbildung 3 dargestellten inneren Strukturen können mit ein und demselben Beschichtungswerkstoff hergestellt werden, eignen sich jedoch für unterschiedliche Belastungsfälle.

In Bezug auf die **Karbidgröße** lassen sich drei Extremfälle unterscheiden. In einer Auftragspur, in der ausschließlich relativ große Karbide vorhanden sind, befinden sich zwischen diesen Karbiden vergleichsweise große Zwischenräume, die mit Matrix gefüllt sind. Abhängig vom Verschleißmechanismus und der Belastung kann die weiche Matrix ausgewaschen werden. Die Karbide verlieren damit zunehmend ihren Halt im Gefüge, werden aus der Oberfläche herausgetrennt und hinterlassen einen Krater.

Im Falle sehr kleiner Karbide, die nur eine geringe Anbindungsfläche besitzen, besteht zwar die Gefahr von Auswaschungen, aufgrund der hohen Karbiddichte, weniger, jedoch können diese bei starker Abrasivbeanspruchung leicht herausgerissen werden und wirken dann zusätzlich abrasiv auf das System.

In Bezug auf eine Abrasivbeanspruchung ist eine Mischung aus großen und kleinen Karbiden als optimal anzusehen. Dabei wirken die großen Karbide als Hauptverschleißträger, während die kleinen Karbide vor Auswaschungen schützen. Allerdings besitzt eine solche Schicht eine sehr hohe Härte, woraus eine geringere Schlagfestigkeit resultiert.

In Bezug auf die **Karbidverteilung** innerhalb der Auftragspur wird in Abbildung 3 ebenfalls zwischen drei Fällen unterschieden. Im ersten Beispiel besitzt der Auftrag eine gleichmäßige geringe Karbidverteilung im Querschnitt. Eine solche innere Struktur ist aufgrund des großen Matrixanteils sehr duktil und schlagzäh, aufgrund des geringen Karbidanteils aber nicht für Abrasivverschleiß geeignet. Im zweiten Beispiel weist die Spur an der Oberfläche eine sehr dichte Karbidkonzentration auf, die zur Spurwurzel hin abnimmt. Dadurch ist diese Beschichtung an der Oberfläche sehr hart und gegen Abrasion verschleißfest. Zur Spurwurzel hin wird das Gefüge duktiler und erhält dadurch eine begrenzte Schlagzähigkeit.

Die dritte Auftragspur weist durch die sehr dichte und gleichmäßige Karbidverteilung eine sehr hohe Härte bei hoher Sprödigkeit auf. Sie ist daher kaum schlagzäh, aber extrem verschleißfest bei Abrasivbeanspruchung.

In Bezug auf die **Karbidform** werden in Abbildung 3 zwei Fälle unterschieden. Unabhängig von der Verteilung besitzen runde Karbide eine geringe innere Kerb- und Stützwirkung, da die Karbidkugeln leicht aneinander abgleiten können.

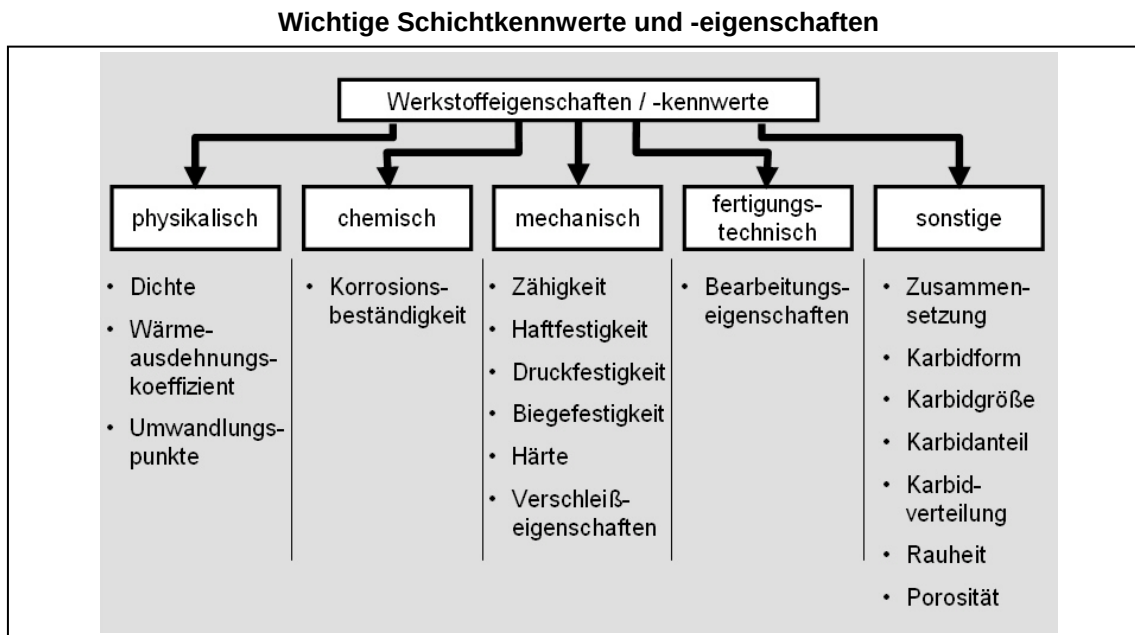
Im Gegensatz dazu besitzen kantige Karbide eine hohe innere Kerbwirkung. Wird ein kantiges Karbid belastet, haben dessen Kanten eine spaltende Wirkung auf das Gefüge. Auch die Stützwirkung von kantigen Karbiden ist wesentlich höher, was bei entsprechender Konzentration der Karbide zu geringerer Duktilität führt.

Die hier dargestellten Variationsmöglichkeiten, die sich in der Hauptsache aus Variationen der Prozessparameter ergeben, zeigen die Komplexität der Aufgabe deutlich. Abhängig vom eingesetzten Beschichtungswerkstoff können sich weitere abweichende Effekte ergeben, die Einfluss auf die Eignung der Beschichtung haben.

Weitere wichtige Schritte im Rahmen der Phase 2 der Prozesskette sind die Überprüfungen der geforderten Eigenschaften von Beschichtung und der Kombination aus Beschichtung und Grundwerkstoff. Die eindeutigsten Aussagen über die Eignung einer Beschichtung lassen sich mit Hilfe technologischer Kennwerte machen. Daher wird im Rahmen der Forschungsarbeiten an der Hochschule Pforzheim eine große Anzahl von Schichtkennwerten und -eigenschaften untersucht.

Für die derzeitigen Anwendungen sind die in Abbildung 4 dargestellten Kennwerte und Eigenschaften von Interesse.

Abbildung 4



Die Ermittlung dieser Kennwerte und Eigenschaften erfolgt mit entsprechenden Prüfeinrichtungen.

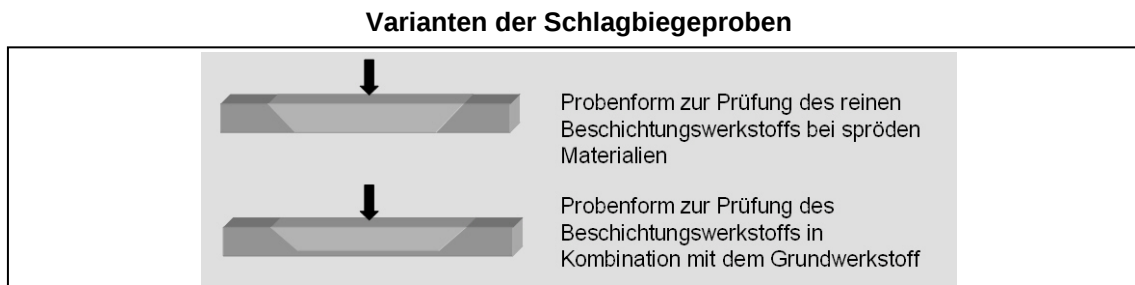
2 Ermittlung technologischer Kennwerte an Auftragschichten

Es gibt eine Reihe von Standardprüfverfahren mit denen sich ein großer Teil der technologischen Kennwerte aus Abbildung 4 ermitteln lassen. Nicht immer können diese Verfahren jedoch direkt an beschichteten Bauteilen durchgeführt werden. Um ein repräsentatives Prüfergebnis zu erhalten, ist in manchen Fällen eine Anpassung der Prüfnorm unumgänglich, wie an folgendem Beispiel deutlich wird.

2.1 Der Schlagbiegeversuch

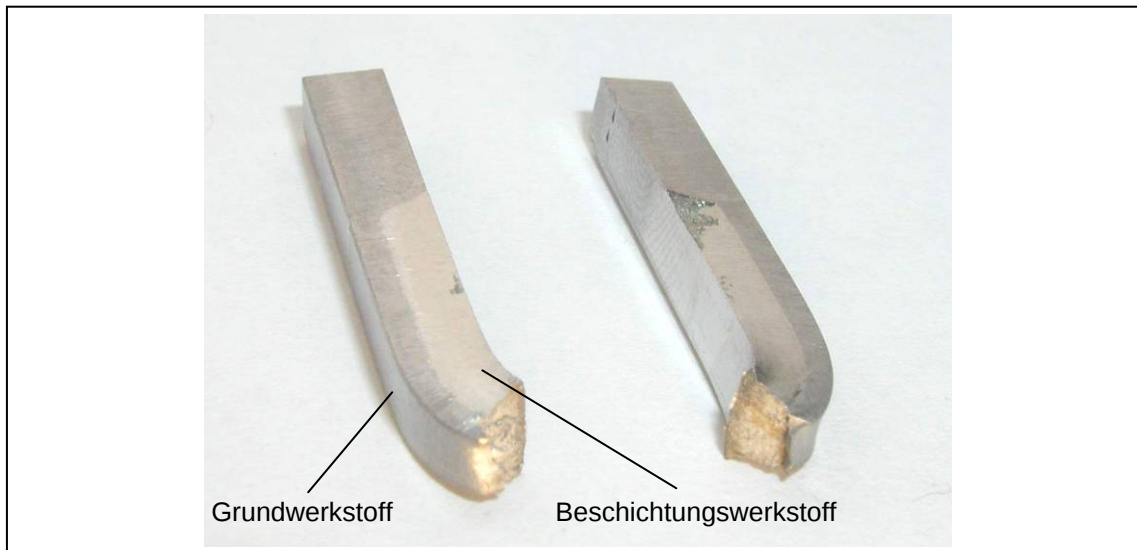
Ein wichtiger Kennwert für Werkstoffe der Kaltumform- und Stanztechnik ist die (Kerb-)Schlagzähigkeit. Da Hartmetallbeschichtungen spröde sind, muss die Prüfung mit vergleichsweise geringer Schlagarbeit (und damit mit einem kleinen Pendelschlagwerk) durchgeführt werden. Aus diesem Grund wird auf die Kerbe verzichtet, so dass man hier vom sogenannten Schlagbiegeversuch spricht. Diese Prüfung wird sowohl am reinen Beschichtungswerkstoff, als auch am Verbund aus Grund- und Beschichtungswerkstoff durchgeführt. Insbesondere bei der Prüfung des Verbunds der Werkstoffe musste durch umfangreiche Vergleichsversuche eine optimale Probenform bestimmt werden. Da das Prüfergebn nun stark von der Probenorientierung abhängig ist, musste die Prüfnorm angepasst werden, in der der eindeutige Prüfablauf definiert ist. Die speziellen Probenformen zur Prüfung laserauftraggeschweißter Schichten sind in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5



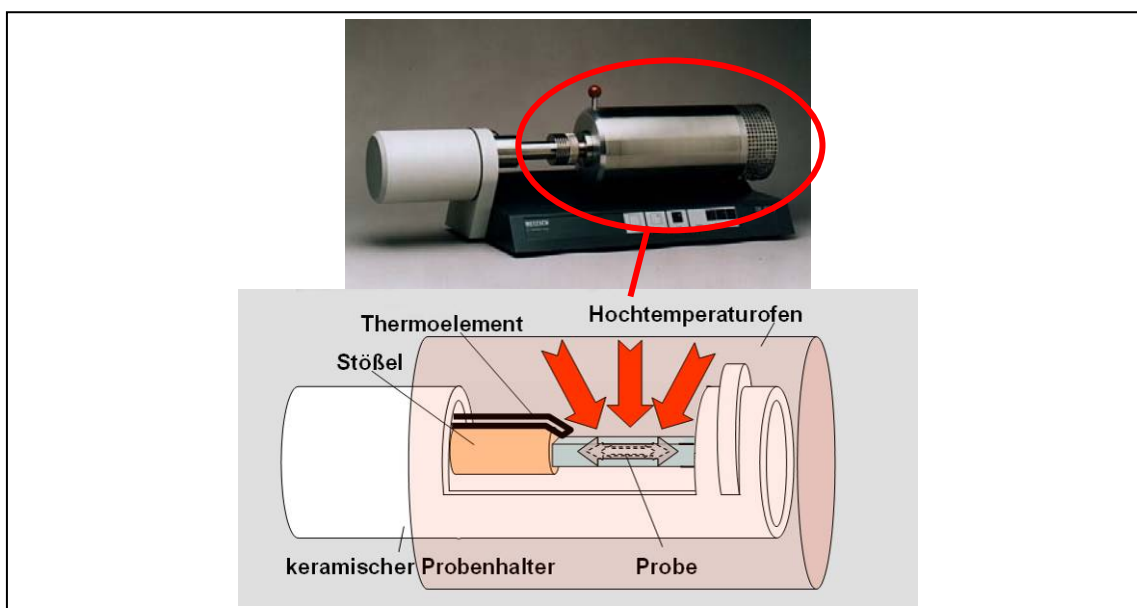
Gleichzeitig kann mit der Prüfung des Schichtverbundes mit dem Grundwerkstoff auch die Haftfestigkeit der Schicht geprüft werden. Wie ausgezeichnet die Schichthaftung laserauftraggeschweißter Schichten ist, zeigt Abbildung 6.

Abbildung 6

Schlagbiegeprobe nach der Prüfung**2.2 Der Dilatometerversuch**

Ziel des Dilatometerversuchs ist die Bestimmung von Wärmeausdehnungskoeffizienten und Umwandlungspunkten, die sich in Form plötzlicher Längenänderungen zeigen, zu ermitteln. Dabei wird eine Probe kontinuierlich erwärmt. Die Längenänderungen werden über einen hochpräzisen Wegaufnehmer aufgezeichnet. Den Aufbau eines Dilatometers zeigt Abbildung 7.

Abbildung 7

Aufbau eines Dilatometers

Der Wärmeausdehnungskoeffizient ist vor allem für den Auftragsprozess von Bedeutung. Unterschiedliche Dehnungen wirken sich nachteilig auf den Beschichtungsprozess aus und führen zu Unregelmäßigkeiten und Rissbildung. Auch für den Einsatz des beschichteten Objekts kann der Wärmeausdehnungskoeffizient wichtig sein. Befindet sich der Arbeitspunkt des Objekts beispielsweise in einem Bereich in dem die Wärmedehnungen von Grund- und Beschichtungswerkstoff stark differieren, kann es ebenfalls zur Rissbildung oder Abplatzung der Schicht kommen.

2.3 Dichtebestimmung und Porosität

Im Allgemeinen ist Porosität bei Verschleißschutzschichten nicht erwünscht. Daher wird sie im Entwicklungsprozess ebenfalls bestimmt. Grundlage dafür bildet die Dichtebestimmung mit einem Pyknometer nach Abbildung 8 und Gl.1.

Abbildung 8

Pyknometer



$$\rho_T = m_1 / (m_1 + m_2 - m_3) * \rho_{T(H_2O)} \quad (Gl.1)$$

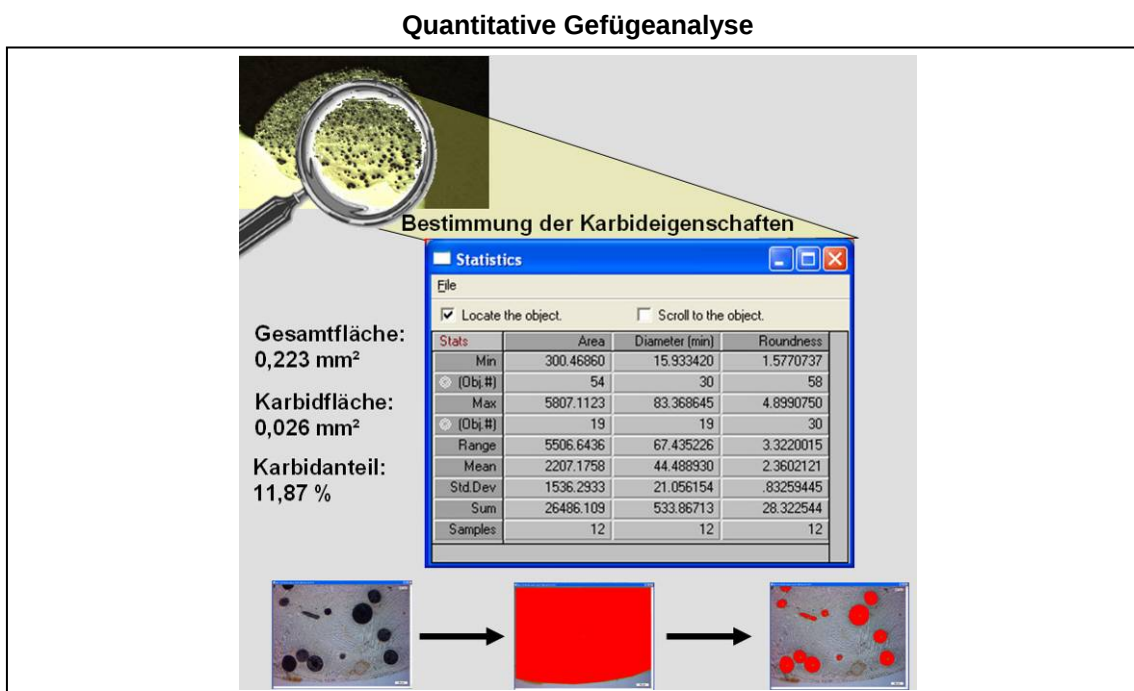
mit: m_1 = Masse der Probe
 m_2 = Masse von Pyknometer + Wasser
 m_3 = Masse von Pyknometer + Wasser + Probe
 $\rho_{T(H_2O)}$ = Dichte des Wassers

Zur Bestimmung der Porosität wird zunächst die Dichte einer laserauftraggeschweißten Probe bestimmt. Im Anschluss daran wird sie mit der Dichte einer gegossenen Referenzprobe verglichen. Die durchschnittlich gemessene Porosität der untersuchten Proben liegt $< 0,3 \%$, dabei zeigt sich eine starke Parameterabhängigkeit.

2.4 Quantitative Gefügeanalyse

Wie bereits in Abbildung 3 gezeigt und erläutert hat der innere Aufbau des Gefüges einen entscheidenden Einfluss auf die Schichteigenschaften. Die Untersuchung des Gefüges kann nur im Schliffbild erfolgen. Da die Bearbeitungsergebnisse beim Laserauftragsschweißen sehr gut reproduzierbar sind, ist dies jedoch kein Nachteil. Mit Hilfe einer Software, für die spezielle Analysemodule erstellt wurden, können Schliffbilder automatisch auf Karbidform, -größe, -anteil und -verteilung untersucht werden. Abbildung 9 zeigt einige Bildausschnitte aus der Software.

Abbildung 9



2.5 Bearbeitungseigenschaften

Die Endbearbeitung der aufgetragenen Hartmetallschichten erfolgt ausschließlich durch Schleifen. Da diese Hartmetallschichten sich vom klassischen, gesinterten Hartmetall in ihrer Zusammensetzung unterscheiden, muss auch die schleifende Bearbeitung entsprechend angepasst werden.

Zur Untersuchung der Bearbeitungseigenschaften einer solchen Hartmetallschicht wurden an Probestücken umfangreiche Versuche zum Flatschleifen durchgeführt. Als Schleifmittel kamen dabei Korund, CBN, sowie Diamant, jeweils in verschiedenen Körnungen, zum Einsatz.

2.5.1 Korund

Die Schleifversuche zeigen, wie erwartet, dass Korund für die Hartmetallschichten kein geeignetes Schleifmittel darstellt. Dies begründet sich zum einen in den relativ hohen Rautiefen, zum anderen aber auch in der Tatsache, dass nur 1/10 des zugestellten Maßes tatsächlich abgetragen wurde. Bei den Versuchen wurde daher ein sehr großer Schleifscheibenverschleiß festgestellt.

Tabelle 1

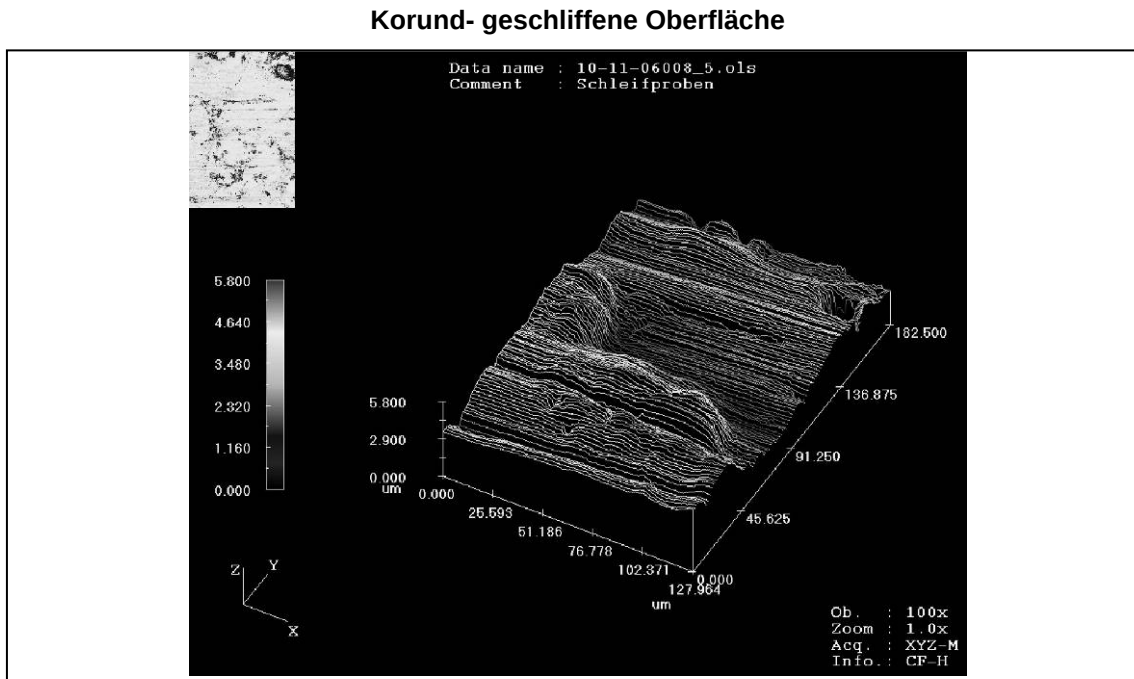
Flatschleifen mit Korund

Scheibe	Rauwert längs Rz [µm]	Rauwert quer Rz [µm]	Bemerkung
Korund WA 120 H7 VLG AA	1,255	4,721	1/10 des Zustellmaßes abgetragen
Korund Dortner 80 KZ	1,753	2,865	1/10 des Zustellmaßes abgetragen
Norton ZVX45	1,411	2,139	1/5 des Zustellmaßes abgetragen
Korund BGV D12	0,7007	1,656	1/3 des Zustellmaßes abgetragen
Korund weiß WA 150/K8V	0,448	1,322	1/5 des Zustellmaßes abgetragen
Korund Winterthur 64A46J8V	0,644	1,388	1/5 des Zustellmaßes abgetragen

Zustellung: 0,01 mm

Abbildung 10 zeigt eine Korund - geschliffene Oberfläche. Deutlich zu erkennen ist, dass Werkstoffteile aus der Oberfläche herausgetrennt wurden.

Abbildung 10



2.5.2 Kubisches Bornitrid (CBN)

Die Rautiefen beim Schleifen mit CBN - Scheiben zeigen deutlich bessere Ergebnisse. Dabei entspricht die Zustellung dem tatsächlichen Abtrag, so dass hier ein deutlich geringerer Verschleiß der Schleifscheiben vorliegt.

Tabelle 2

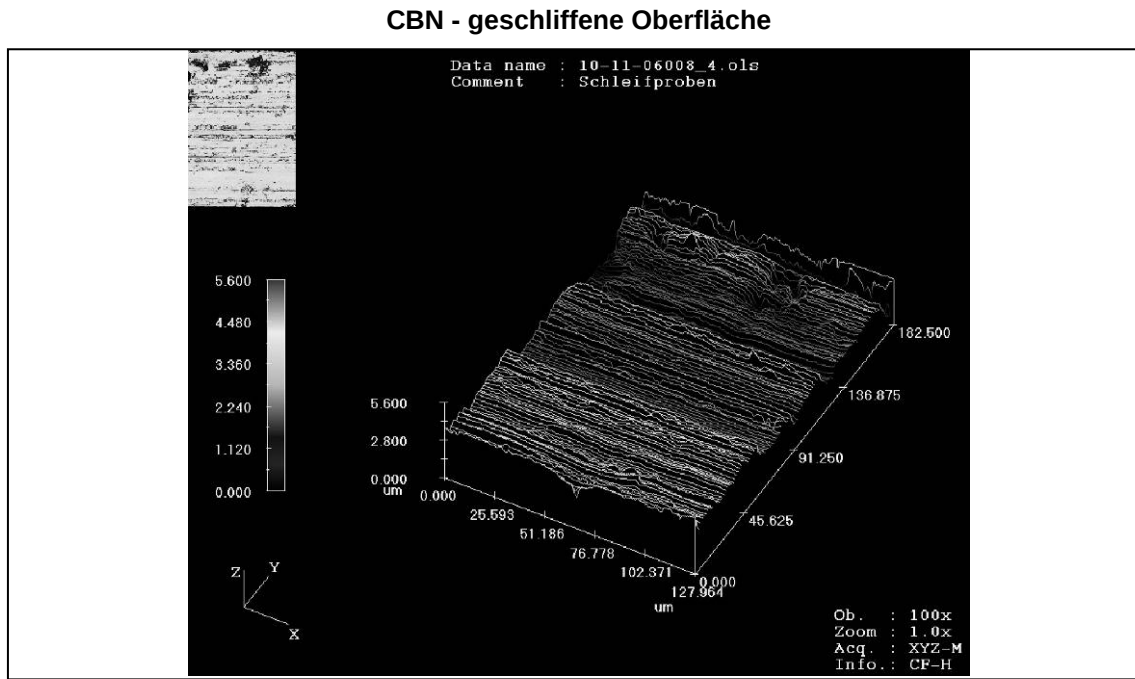
Flachschleifen mit CBN

Scheibe	Rauwert längs Rz [μm]	Rauwert quer Rz [μm]
CBN B126 V18 KR 18	0,985	2,305
CBN B126 / C75	0,467	1,825

Zustellung: 0,01 mm

Die in Abbildung 11 dargestellte Oberfläche zeigt deutliche Verbesserungen gegenüber der Korund - geschliffenen Oberfläche aus Abbildung 10.

Abbildung 11



2.5.3 Diamant

Im dritten Teil der Schleifversuche wurden verschiedene Diamantscheiben eingesetzt. Bei, zu den vorherigen Versuchen, vergleichbarer Körnung zeigten sich weitere Verbesserungen im Schleifergebnis. So konnten Rautiefen und Schliffbild durch die Bearbeitung mit Diamant weiter verbessert werden.

In einer weiteren Versuchreihe wurde die Körnung der Diamantscheiben reduziert, um möglichst gute Oberflächen herzustellen. Hierzu kamen Scheiben der Körnung D46 und D20 zum Einsatz, die eine weitere Verbesserung der Oberfläche erbrachten (siehe Tabelle 3 und Abbildung 12).

Wie erwartet, eignen sich Diamantscheiben zum Schleifen dieser, vom gesinteren Hartmetall differierenden, Auftragschichten am besten. Mit Diamant lassen sich die besten Schleifergebnisse in Bezug auf Rautiefen und Schliffbild erzielen. Zur weiteren Optimierung werden die Schleifversuche weiter vorgeführt.

Tabelle 3

Flachschleifen mit Diamant

Scheibe	Rauwert längs Rz [μm]	Rauwert quer Rz [μm]
Diamant D120	0,329	2,131
Diamant D91 / C75	1,133	1,685

D46 C75 K400 NB

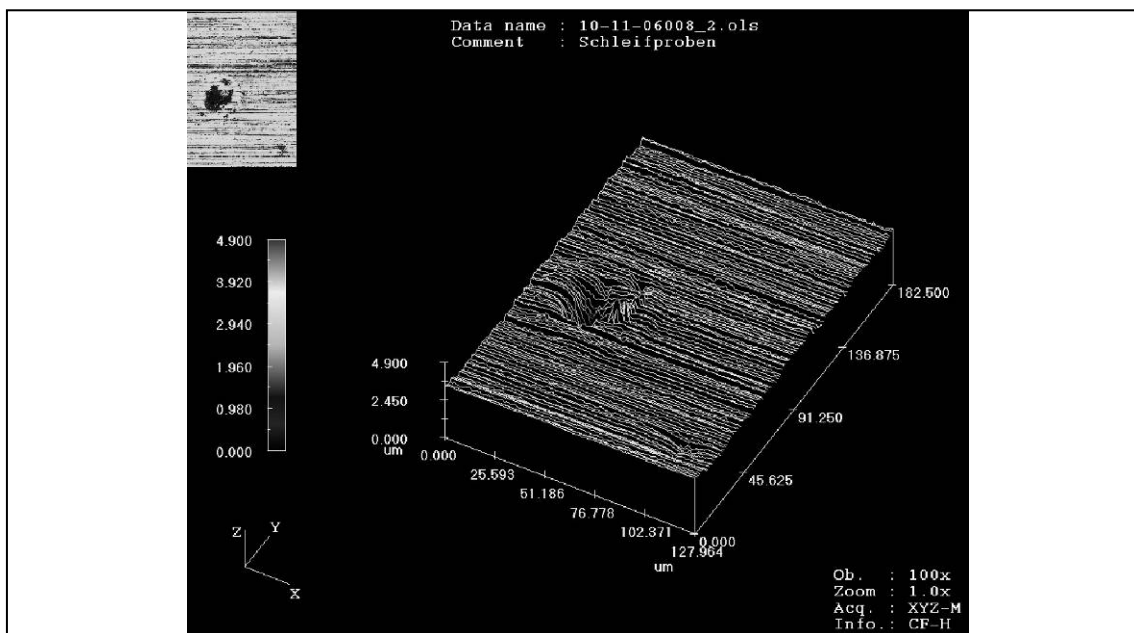
Zustellung [mm]	Rauwert längs Rz [μm]	Rauwert quer Rz [μm]
0,005	0,482	2,23
0,002	0,43	1,992
0,001	0,376	2,039

D20B C50 K7777J

Zustellung [mm]	Rauwert längs Rz [μm]	Rauwert quer Rz [μm]
0,005	0,376	1,1419
0,002	0,267	0,908
0,001	0,37	1,236

Abbildung 12

Diamant - geschliffene Oberfläche

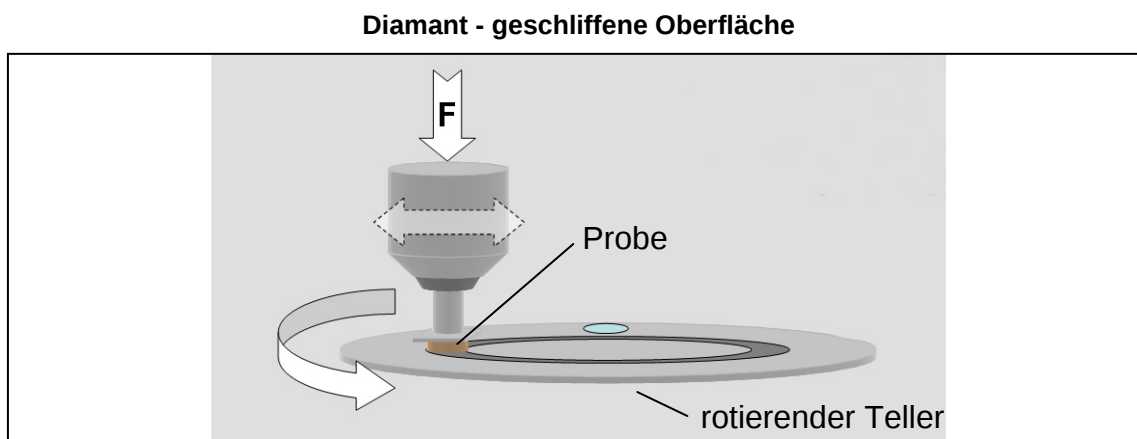


2.6 Verschleißprüfung „Stift-Scheibe“

Die hier behandelten Hartmetallschichten werden als Verschleißschutzschichten für verschiedenste Anwendungen eingesetzt. Wesentliche Prüfungen, zur Ermittlung der Tauglichkeit für Anwendungen, solcher Schichten sind daher Verschleißprüfungen, für die eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren existiert. Ein Prüfverfahren, welches Aussagen über Adhäsion und Abrasion zulässt, ist der sogenannte „Stift-Scheibe“-Versuch.

Das Funktionsprinzip ist in Abbildung 13 dargestellt. Eine feingewogene Probe wird in ein Backenfutter eingespannt und liegt auf einer drehbar gelagerten Scheibe auf. Die Scheibe bildet im System den Reibpartner der Probe. Die Scheibe wird in Rotation versetzt und die Probe mit einer variablen Kraft (F) belastet. Die Prüfung kann auch mit zusätzlichen Medien (z.B. Schmiermittel) durchgeführt werden. In bestimmten Zeitabständen wird die Probe und ggf. auch die Scheibe feingewogen. Als Kennwert für die Abrasion ergibt sich eine wegabhängige Massenänderung der Probe bzw. der Scheibe. Die Adhäsion kann in Form eines entstehenden Materialauftrags analysiert und beziffert werden.

Abbildung 13

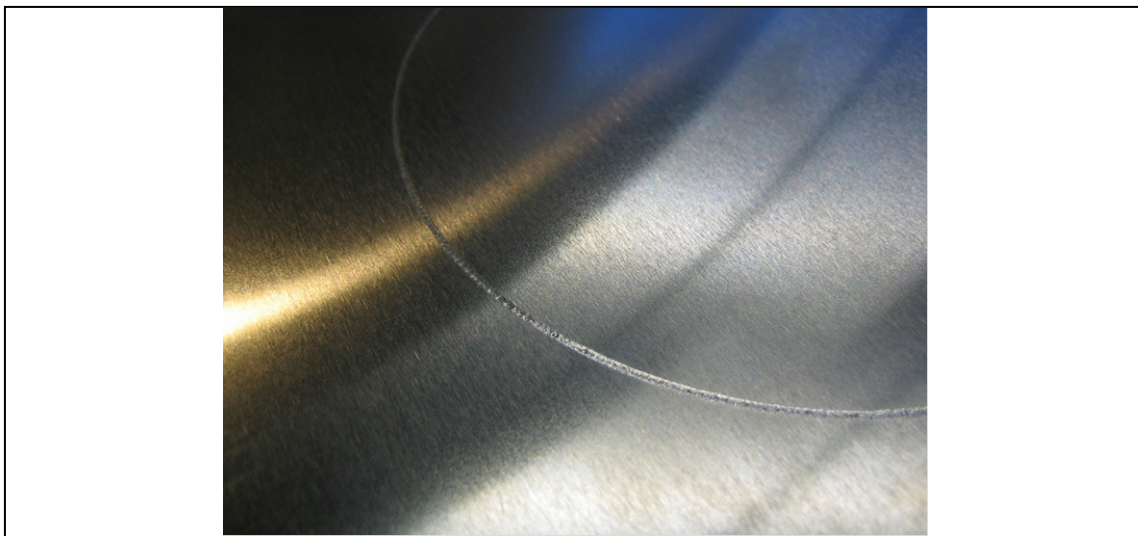


Eine gezielte Abstimmung der Probenabmessungen und Reibpartner, sowie Kraft und Drehzahl ist bei dieser Prüfung sehr wichtig, um ein repräsentatives Prüfergebnis zu erhalten.

Abbildung 14 zeigt eine Grauguss - Scheibe, die als Verschleißkörper für eine Hartmetallbeschichtung eingesetzt wurde. In diesem Beispiel waren Abmessung der Probe und Kraft ungünstig gewählt, was sich bereits nach kurzer Prüfdauer (ca. 100 Umdrehungen) in einem extremen Abtrag des Verschleißkörpers äußerte.

Abbildung 14

Verschleißkörper mit Verschleißmarke (ca. 0,4 mm tief)



Fazit:

Die hier beispielhaft beschriebenen Prüfverfahren zeigen die Komplexität und den Aufwand, welcher hinter der Ermittlung von Kennwerten und Eigenschaften von Schichten stehen. Da die Werkstoffauswahl in aller Regel jedoch nach unterschiedlichsten Kennwerten erfolgt, sind diese auch für die Auslegung von Verschleißschutzschichten von großer Bedeutung. Dabei können bekannte Standardprüfverfahren oft nicht direkt eingesetzt werden. Es müssen daher oft eigene „Hausnormen“ erstellt werden, um repräsentative Prüfergebnisse zu erlangen. Die Prüfung der Schichten soll in Zukunft in erster Linie dahin optimiert werden, dass ein standardisiertes Prüfprogramm für laserauftraggeschweißte Schichten erstellt wird.

3 Aktuelle Anwendungsbeispiele

3.1 Beispiel 1: Walzen

3.1.1 Herstellung und Eigenschaften der Beschichtung

Bei dieser Anwendung handelt es sich um Walzen für Bänder. Sie wurde bereits beim Technik Forum 2005 im Rahmen umfangreicher Versuche mit Pulverwerkstoffen vorgestellt.

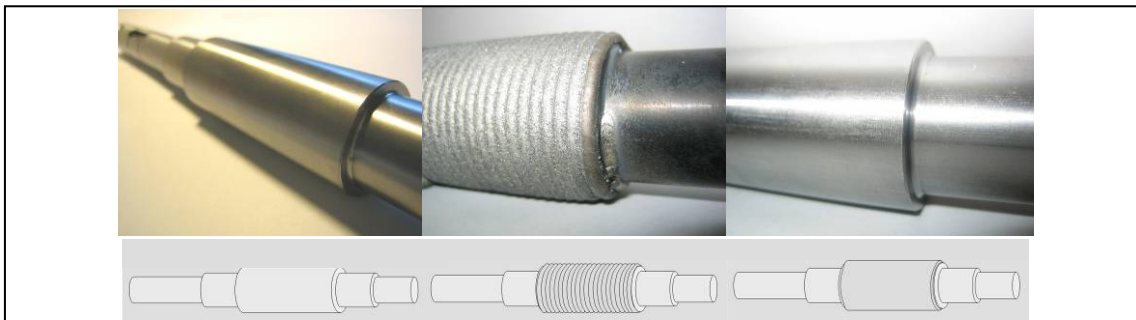
Als Grundwerkstoff kommt ein weichgeglühter, unlegierter Werkzeugstahl (1.1545) zum Einsatz. Für den Auftragsprozess ist der weichgeglühte Zustand zu bevorzugen. Eine wesentliche Anforderung an die Schicht ist die Schichthärte (siehe Tagungsband Technik Forum 2005). Sie sollte bei 60 +2 HRC liegen.

Als Beschichtungswerkstoff kommt ein Hartmetallpulver zum Einsatz. Es besteht, im nicht aufgeschweißten Zustand, zu 40% aus einer Ni-B-Si-Matrix und zu 60% aus einer Hartphase in Form von WC-Karbid. Jedoch kann, je nach Einstellung der Prozessparameter beim Laserauftragschweißen, die Zusammensetzung, wie oben erwähnt, erheblich beeinflusst werden.

Die Dicke der aufgetragenen Schicht betrug direkt nach der Laserbearbeitung ca. 1,5 mm. Durch eine schleifende Endbearbeitung wurden die Walzen auf Maß gefertigt, so dass die Beschichtung noch ca. 1 mm stark war. Die Schichthärte betrug 62 HRC. Abbildung 15 zeigt die Stufen der Bearbeitung.

Abbildung 15

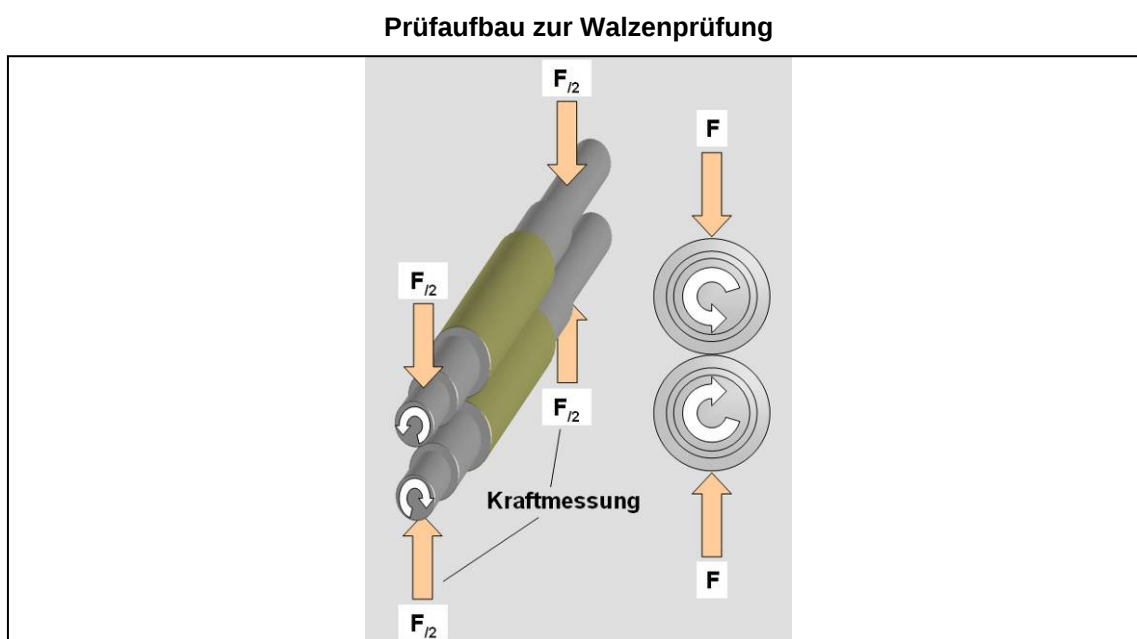
Bearbeitungsstufen bei Bandwalzen



3.1.2 Prüfung der Walzen

Für die Prüfung der Beschichtung kann eine Vielzahl verschiedener Prüfverfahren herangezogen werden. Die ersten Prüfungen sollten jedoch mit einem möglichst realitätsnahen Prüfverfahren durchgeführt werden. Zur Verschleiß- und Haftfestigkeitsprüfung der Walzen steht ein spezielles Walzgerüst zur Verfügung. Die Walzen rotieren dabei mit 26 U/min. Im ersten Schritt erfolgte die Walzenprüfung ohne Zusatzmaterial. Dazu wurden sie auf Block gefahren und stufenweise mit einer ansteigenden Kraft, jeweils 60 Minuten, belastet. Kraftmessdosen an den Lagern des Walzgerüsts ermöglichen eine reproduzierbare Krafteinstellung. Der Prüfaufbau ist in Abbildung 16 zu sehen.

Abbildung 16



Die Walzen müssen für diese Anwendung, auf einer Berührungslinie von 80 mm, eine maximale Kraft von 15.000 N ohne Schädigung aufnehmen können. Die zu prüfenden Walzen wurden bis 30.000 N belastet, ohne dass die Schicht beschädigt wurde. Höhere Kräfte konnten mit dem Walzgerüst nicht aufgebracht werden. In den folgenden Prüfungen wird die Prüfung mit verschiedenen Zusatzmaterialien durchgeführt.

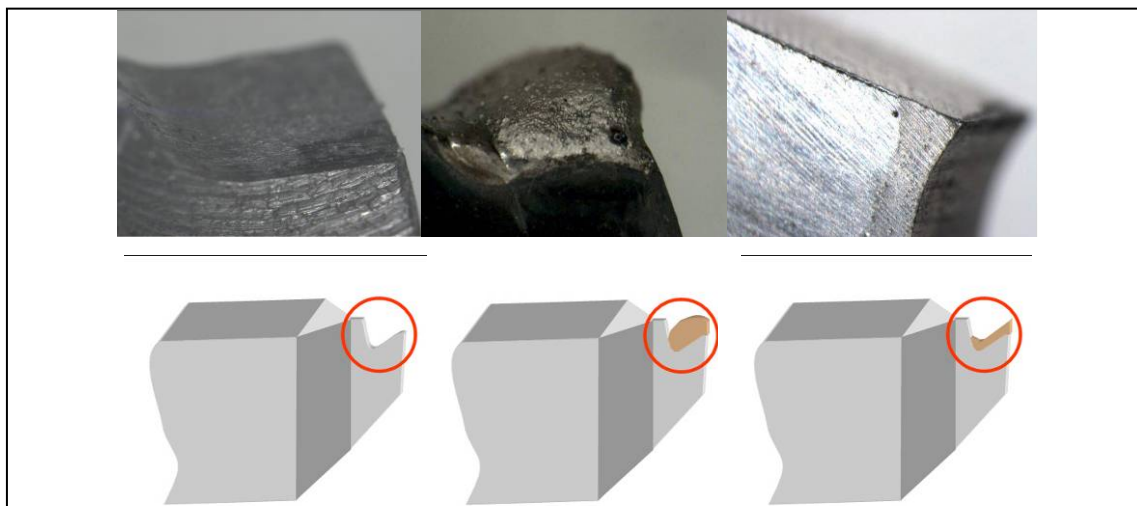
3.2 Beispiel 2: Stoßwerkzeug

3.2.1 Herstellung der Beschichtung

Für diese Anwendung kommen vier unterschiedliche pulverförmige Beschichtungswerkstoffe in Betracht. Es handelt sich bei allen Metallpulvern um Hartmetalle. Sie unterscheiden sich allerdings in der Zusammensetzung der Matrix, dem Karbidtyp, sowie der Karbidform. Das hier verwendete Stoßwerkzeug verfügt über eine Schneide, die im endbearbeiteten Zustand eine ca. 2 mm dicke Hartmetallschicht aufweisen soll. Sie soll im Wesentlichen zwei Aufgaben erfüllen. Zum einen dient die Beschichtung der Standzeiterhöhung, zum anderen bietet ein solcher Werkzeugaufbau gute Reparaturmöglichkeiten. Hat das Werkzeug sein Standzeitende erreicht, besteht die Möglichkeit, die verschlissene Hartmetallschicht entweder durch Schleifen nachzusetzen oder aber sie abzutragen und neu aufzuschweißen. Insbesondere bei mehrschneidigen, komplexen Werkzeugen entstehen hierdurch enorme Kostenvorteile. Abbildung 17 zeigt die verschiedenen Bearbeitungsstufen.

Abbildung 17

Bearbeitungsstufen beim Stoßwerkzeug



3.2.2 Beispiele aus den Optimierungen des Schichtauftrags

Im Rahmen der „Phase 3“ der Prozesskette wird der Auftrag der ausgewählten Schichtwerkstoffe in ihren Prozessparametern optimiert. Im Folgenden werden die gravierenden Auswirkungen der Prozessparameter „Spurabmessung“ (Beeinflussung der Abmessungen durch mehrere Anlagenparameter) und „Aufbaustrategie“ kurz dargestellt.

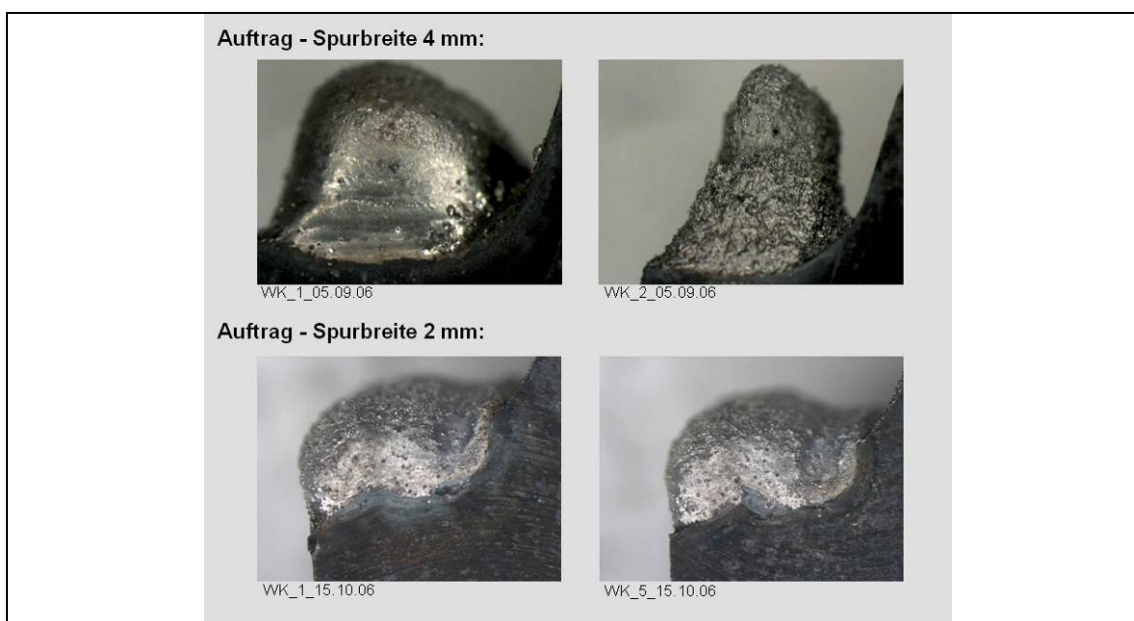
Versuche mit unterschiedlichen Spurabmessungen

Die Beschichtung mit unterschiedlichen Spurabmessungen zeigt bereits makroskopisch gravierende Unterschiede. Wird die relative kleine Fläche (ca. 4 x 4 mm) mit einer großen Spurbreite (4 mm) beschichtet entsteht ein spitz zulaufender mit sehr rauer Oberfläche. Bei der Untersuchung des Gefüges fällt eine hohe Porosität auf.

Die Beschichtung mit einer geringeren Spurbreite (2 mm) zeigt einen deutlich besseren Aufbau, sowohl makroskopisch, als auch mikroskopisch. Bei geringer Spurbreite kann die Beschichtung mit deutlich besserer Kantenschärfe aufgebracht werden. Ebenso sind hier keine Porositäten mehr feststellbar. Abbildung 18 macht die Unterschiede deutlich.

Abbildung 18

Versuche mit unterschiedlichen Spurabmessungen

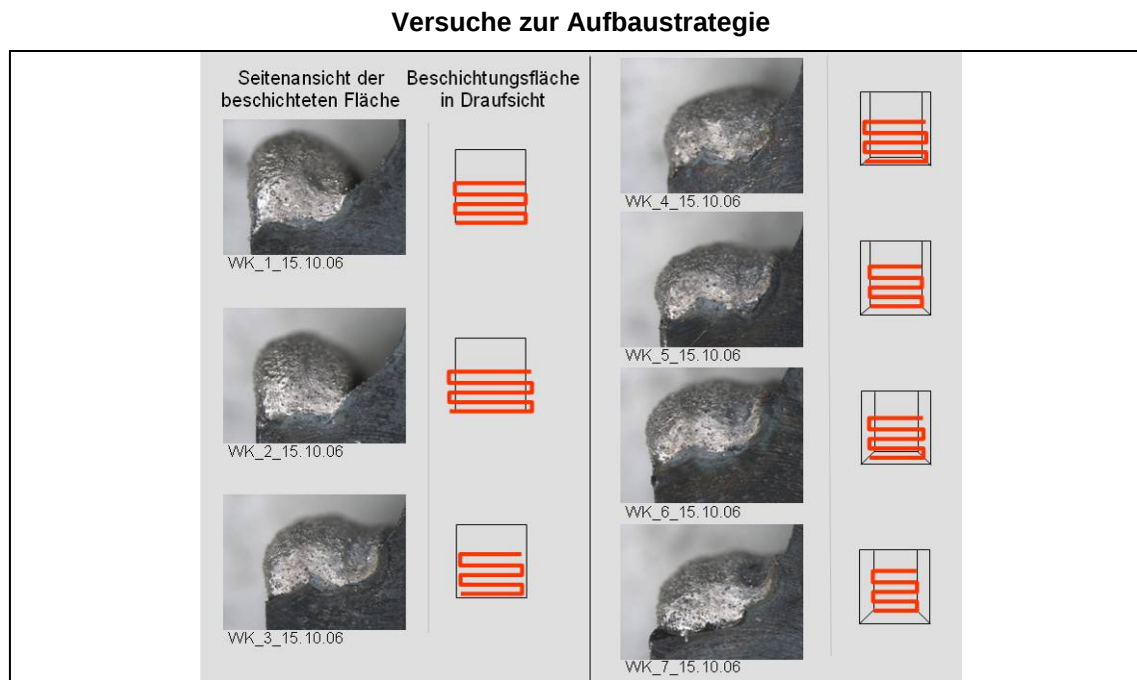


Versuche zu unterschiedlichen Aufbaustrategien

Bei diesen Werkzeugen ist es von großer Bedeutung, dass der Auftrag an den Kanten möglichst senkrecht verläuft, um bei der Nachbearbeitung ohne große Abtragsraten ebene Flächen erzeugen zu können.

Durch verschiedene Aufbaustrategien wurde der Kantenaufbau im Detail untersucht. Dabei zeigten sich bereits makroskopisch deutliche Unterschiede im Schichtauftrag. Während bei manchen Strategien eine senkrechte Kante der Beschichtung erzeugt werden kann, kommt es bei anderen Strategien zu einem Überhang oder einer nicht ausgeprägten Kante. Abbildung 19 zeigt einige der Aufbaustrategien und ihre Ergebnisse.

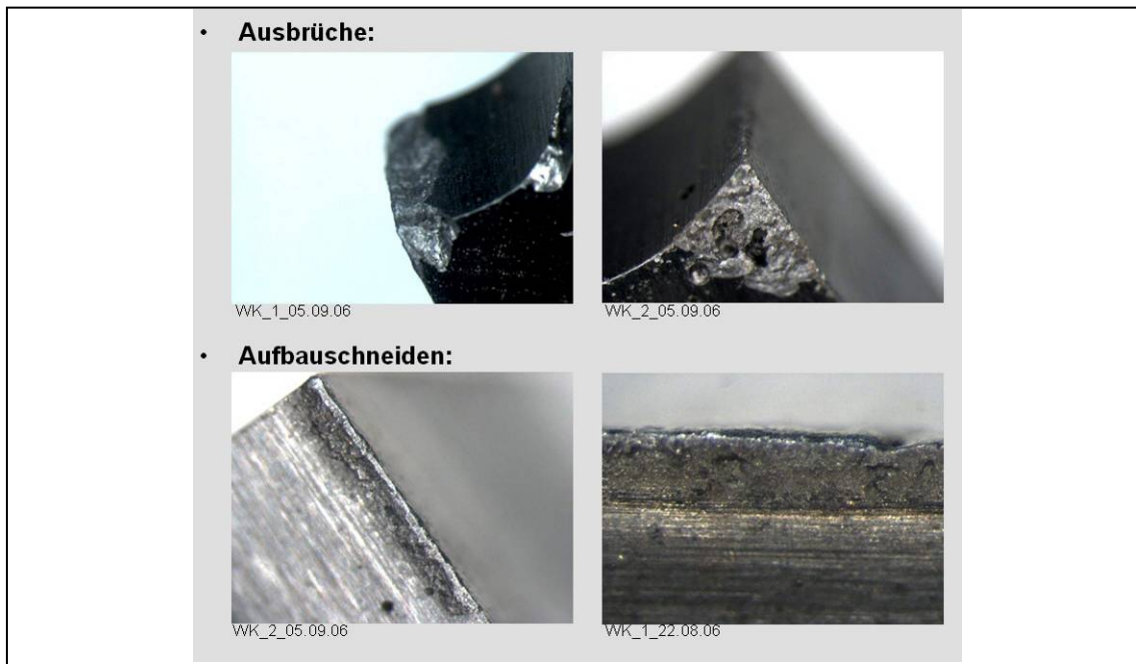
Abbildung 19



3.2.3 Verschleißerscheinungen an den Werkzeugen

An den Stoßwerkzeugen treten im Wesentlichen Formen von Verschleiß auf. Das sind zum einen Ausbrüche und zum anderen Aufbauschneiden durch Adhäsion. Abbildung 20 zeigt Beispiele für die beiden Verschleißerscheinungen,

Abbildung 20

Verschleißerscheinungen an Stoßwerkzeugen**3.2.4 Prüfung der Werkzeuge**

Die Prüfung der Werkzeuge erfolgt mit einem einfachen Prüfaufbau. Dabei wird ein Block aus Grauguss zerspant. Der Block ist durch Nuten in mehrere Segmente aufgeteilt. Bei der Auswertung wird jedes Segment als ein Teil gewertet, um ein quantitatives Prüfergebnis zu erhalten. Dabei wird das Werkzeug mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 30 m/min und einer Schnitttiefe von 0,15 mm bei einer Schnittbreite von 3 mm über das Werkstück bewegt. Das Werkzeug gilt als verschlissen, wenn die gemittelte Rautiefe $> 25 \mu\text{m}$ ist. Abbildung 21 zeigt den Prüfaufbau.

Abbildung 21

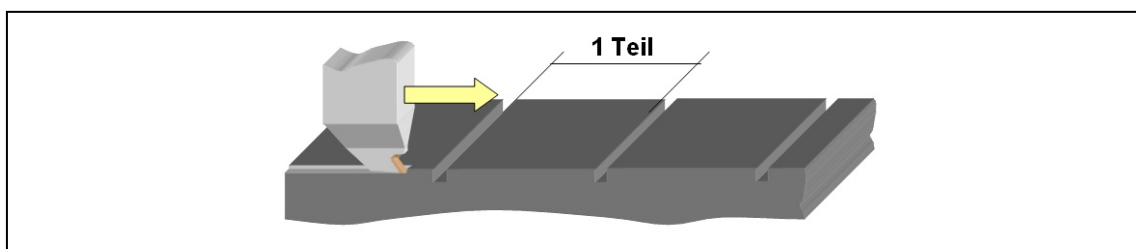
Prüfaufbau für Stoßwerkzeuge

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Werkzeugprüfung. Auffallend ist, dass eine Änderung der Spurbreite eine extreme Verbesserung der Standmenge erbrachte. Die Schichten, die mit einer Spurbreite von 4 mm aufgetragen wurden, zeigten, wie oben beschrieben, hohe innere Porositäten, was zum raschen Ausbruch der Schneidkanten führte. Im Gegensatz dazu zeigten die Schichten, die mit einer Spurbreite von 2 mm aufgetragen wurden, keine Porosität und einen homogenen Gefügebau, was sich in einer deutlich erhöhten Standmenge bemerkbar machte.

Tabelle 4

Prüfergebnisse				
Beschichtungswerkstoff	Auftrag - Spurbreite [mm]	„Start“ - Rauwert am WK [µm]	Anzahl „Teile“	Versagensursache
„WOKA 6050 Plus“	4 WK_1_22.08.06	21	8.043	Aufbauschneide, Rz = 28 µm
	2 WK_2_06.10.06	21,3	4.998	Aufbauschneide, Rz = 28,1 µm
„WOKA 6060 Plus“	4 WK_1_05.09.06	n.e.	480	Ausbruch der Schneide
	2 WK_2_08.10.06	18	11.088	Aufbauschneide, Rz = 27,5 µm
„WOKA 6060 12 Co“	4 WK_2_05.09.06	n.e.	440	Ausbruch der Schneide
	2 WK_3_08.10.06	10,1	> 13.188	aktuell Rz = 21,4 µm
„WOKA 6040 Plus“	2 WK_1_08.10.06	11,8	4.998	Aufbauschneide, Rz = 26,4 µm
HSS-Stahl *	-	5,85	> 11.000	Rz = 13,2 µm
PM-Stahl *	-	6,2	> 11.000	Rz = 16 µm

* Rauwerte an der Werkzeugoberfläche um Faktor 5 besser

Am deutlichsten zeigte sich der Effekt beim Beschichtungswerkstoff „WOKA 6060 12 Co“. Dort nahm die Standmenge um nahezu 3000 % zu. Als Vergleichswerkstoff wurden ein HSS- und ein PM-Stahl herangezogen.

Die Standzeiten der beiden Werkstoffe sind vergleichbar. Jedoch wird die Vergleichbarkeit durch die unterschiedlichen anfänglichen Rauheitswerte gestört. Sie sind beim HSS- und PM-Stahl um Faktor 5 besser, als bei den aufgetragenen Hartmetallschneiden. Durch die schlechteren Oberflächen bei den aufgetragenen Schneiden kommt es dort zu erhöhtem Verschleiß. Aus diesem Grund wurden die bereits oben beschriebenen Schleifuntersuchungen zur Oberflächenoptimierung durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchungen war es möglich, die Oberflächengüte an die des HSS- oder PM-Stahls anzupassen. Die Verschleißprüfungen stehen allerdings noch aus.

4 Ausblick

Die weiteren Arbeitsgebiete im Forschungsprojekt streben vor allem Variationen des Beschichtungswerkstoffs an. Dabei sollen die Beschichtungswerkstoffe in Zusammensetzung, Form und Größe ihrer Bestandteile verändert werden. Weiterhin sollen durch neue Verfahrenstechnik, auch gezielte Schichtsysteme hergestellt werden.

Die gezielte Auslegung von Schichten mit Hilfe von Kennwerten, die in standardisierten Prüfungen ermittelt werden, soll dabei die Erschließung weiterer Anwendungsgebiete ermöglichen.

Ursula Christian

**Anwendungsbeispiele und Belastungstests laserbeschichteter
Werkzeuge für die Kaltumformung**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	64
2 Versuchsplanung	64
3 Untersuchungsergebnisse	65
3.1 Unterschiedlicher Pulverauftrag als Beschichtung von spanabhebenden Werkzeugen	65
3.2 Unterschiedliche Beschichtungsgeometrien über die Kante.....	70
3.3 Validierungsuntersuchung auf unterschiedlichen Trägerwerk-stoffen ...	77
3.3.1 Gefügevergleich	78
3.3.2 Vergleich der Beschichtungszusammensetzung und der Härte	80
3.4 Untersuchung flächiger Dickbeschichtungen.....	84
3.5 Gefügeuntersuchung in verschiedenen Beschichtungsebenen im REM	86

Zusammenfassung

Da bei beschichteten Werkzeugen nicht nur die Oberflächenqualität eine Rolle spielt, sondern vielmehr der gesamte Schichtaufbau für die Belastbarkeit verantwortlich ist, wollten wir die Beschaffenheit von mehrlagigen Schichten über die gesamte Höhe unter die Lupe nehmen. Es zeigt sich bei dem Auftrag von Pulverschichten auf spanabhebende Werkzeuge in Form eines Meißels, dass die Art des Auftrags sich entscheidend auf Schichtaufbau und Härte auswirken. Daraufhin erfolgte der Schichtaufbau mit verschiedenen Geometrien über die Kante. Auch hier zeigen sich signifikante Unterschiede.

Um auszuschließen, dass diese abhängig sind von den Auftragsparametern, bzw. der Beschichtungsgeometrie, soll ein Reihenversuch die Reproduzierbarkeit der Schichtaufbauten gewährleisten. Es wurden zwar geringfügige Differenzen bei der Beschichtung mit unterschiedlichen Trägerwerkstoffen festgestellt, die Schichten auf identischem Werkstoff sind jedoch gleichmäßig in Aufbau und Härte und dem entsprechend reproduzierbar.

Generell nehmen die Schichten zu den Deckflächen hin deutlich in ihrem Wolframkarbidanteil zu, wobei die Karbide immer feiner ausgebildet sind.

Dies führt zu enormen Härtesteigerungen in der Matrix, so dass Härten bis nahe 2000 HV zu erreichen sind.

Die Übergangsschichten zum Trägerwerkstoff zeigen durch dessen Aufschmelzen weiche Übergänge und nach oben hin kontinuierliche Anstiege im Härteverlauf.

Die bei mehr als 8-lagig aufgetragenen flächigen Beschichtungen weisen im Wurzelbereich Risse auf, die nahezu gleiche Abstände haben.

Eine Bestimmung der Ausdehnungskoeffizienten zeigt eine kontinuierliche Kontraktion der Beschichtung bei der Abkühlung, während der Trägerwerkstoff bei der A1- Umwandlung deutliche Ausdehnung aufweist.

Dies dürfte bei zu dicken Schichten im kritischen Temperaturbereich die Rissbildung verursachen.

Summary

Since not only the surface quality is important in coated tools but the complete layer construction is rather responsible for the capacity, we wanted to examine the composition of multilayer layers about the complete height. Powder layers on cutting tools in form of a chisel show that the method of coating has a decisive effect on layer construction and hardness. The layers were applied with different geometries via the edge. The results show significant differences.

To exclude that the results depend on the coating parameters or the geometry, a row test was realized to assure the reproducibility of the layers. There were in fact stated minor differences at the coating with different strap materials but the layers on identical material are, however, appropriately reproducible in construction and hardness.

Generally the rate of tungsten carbide increases approaching the surface, whereat the carbides develop finer. This leads to an enormous increase of hardness in the matrix, so that hardnesses up to 2000 HV can be reached. The transition layers to the strap material show, because of initial fusing, soft transitions and up to the top continuous increases of the hardness.

Plane coatings with more than eight layers show cracks in the root area, which have nearly same distances.

The determination of the expansion coefficient shows a continuous contraction of the coating within the cooling phase, while the strap material clearly expands at the A1 - transition. This might cause cracks in the critical temperature area at too thick layers.

1 Einleitung

Es sollten die für den Einsatz mit mehrlagigen Schichten vorgesehenen Werkzeuge auf die Schichteigenschaften untersucht werden. Dabei wurde überprüft, in wie weit unterschiedlicher Auftrag und Kantengeometrie sich auf die Schichteigenschaften auswirken. Daneben sollte ein Reihenversuch zeigen, wie bei gleichen Bedingungen eine kontinuierliche Qualität gewährleistet werden kann.

Auch war zu klären, wo die Ursache für die Rissbildung bei sehr dicken Schichten liegt, und wie diese Risse vermieden werden können.

2 Versuchsplanung

Die Güte der Beschichtung sollte an einem Werkzeug im Einsatz geprüft werden. Dafür diente eine Dickbeschichtung an einem spanabhebenden Versuchswerkzeug mit verschiedenen Auftragsbedingungen, das heißt unterschiedlichen Beschichtungsgeometrien und Werkstoffen. Neben den Belastungsversuchen sollte eine eingehende Untersuchung der Schichten Aufschluss über die Beschichtungsmöglichkeiten bringen.

Die daraus gewonnen Erkenntnisse veranlassten uns die Auswirkungen der Beschichtungsgeometrie genauer zu untersuchen.

Die dabei gefundenen Unterschiede sind so signifikant, dass eine weitere Überprüfung angebracht ist, inwieweit die Beschichtung bei jeweilig konstant gehaltenen Bedingungen reproduzierbar ist und die Ergebnisse nicht willkürlich entstehen.

Für diese Validierung erfolgten je 5 Auftragungen auf 2 verschiedene Trägerwerkstoffe mit identischen Laserbedingungen, die anschließenden Untersuchungen sollten Aufschluss über die Gleichmäßigkeit im Schichtaufbau erbringen.

Zuletzt soll eine genaue Betrachtung einer flächigen Dickbeschichtung, bei der ab der achten Lage Risse im Fußbereich auftraten, der Aufbau der Schicht und die eventuelle Rissursache untersucht werden.

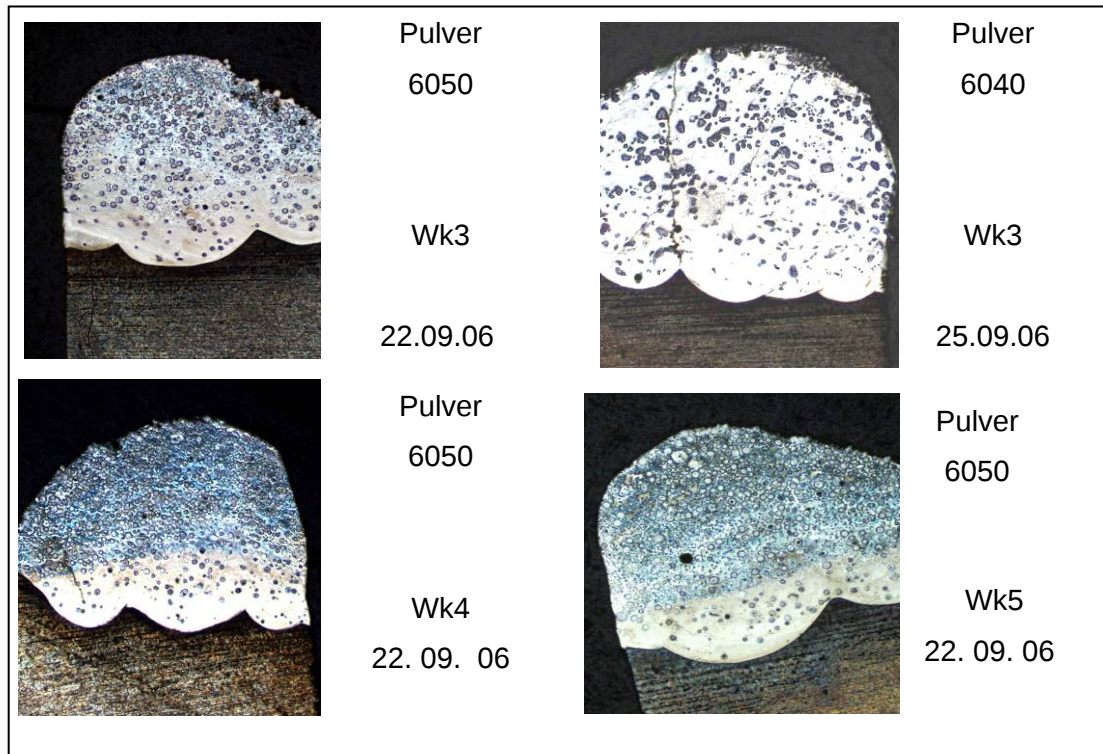
Die am Ende angefügte Bilddokumentation der Gefügeuntersuchung im Rasterelektronenmikroskop soll zeigen, wie die Schicht sich im Verlauf vom Übergang zum Grundmaterial hin bis zur Deckfläche verändert.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Unterschiedlicher Pulverauftrag als Beschichtung von spanabhebenden Werkzeugen

Für die Dickbeschichtung eines Kaltarbeitswerkzeuges wurden Schichten mit unterschiedlichen Beschichtungsbedingungen und einer Pulvervariation aufgetragen. Um die genaue Härte und Zusammensetzung bei der Dickbeschichtung über den gesamten Beschichtungsbereich festzustellen, wurde ein Härteverlauf, ausgehend vom Grundwerkstoff, zur Übergangszone bis in die Decklage der Beschichtung gelegt. Der Abstand zwischen den einzelnen Härteeindrücken beträgt jeweils 0,5mm. Diese dienten dann auch als Orientierungspunkte im Rasterelektronenmikroskop für die Bestimmung der analytischen Zusammensetzung der einzelnen Bereiche. Bei der Betrachtung der vier verschiedenen Schichtaufbauten zeigt sich, dass die Karbidverteilung und -ausbildung variieren und das Pulver 6040 mit seinen kantigen Karbiden zur Rissbildung neigt.

Abbildung 1

Bearbeitungswerkzeuge mit unterschiedlichem Schichtaufbau

Die Zusammensetzung und die Härte zeigen, dass das Eisen im aufgeschmolzenen Bereich sich mit dem Nickel vermischt und abnehmend, noch über nahezu dem gesamten Schichtbereich vorhanden ist.

Die Härte steigt innerhalb der Schicht an und erreicht im oberen Bereich, je nach Schichtaufbau bzw. Beschichtungsbedingungen, Werte in der Schichtmatrix von ca. 800 - 900 HV.

Abbildung 2

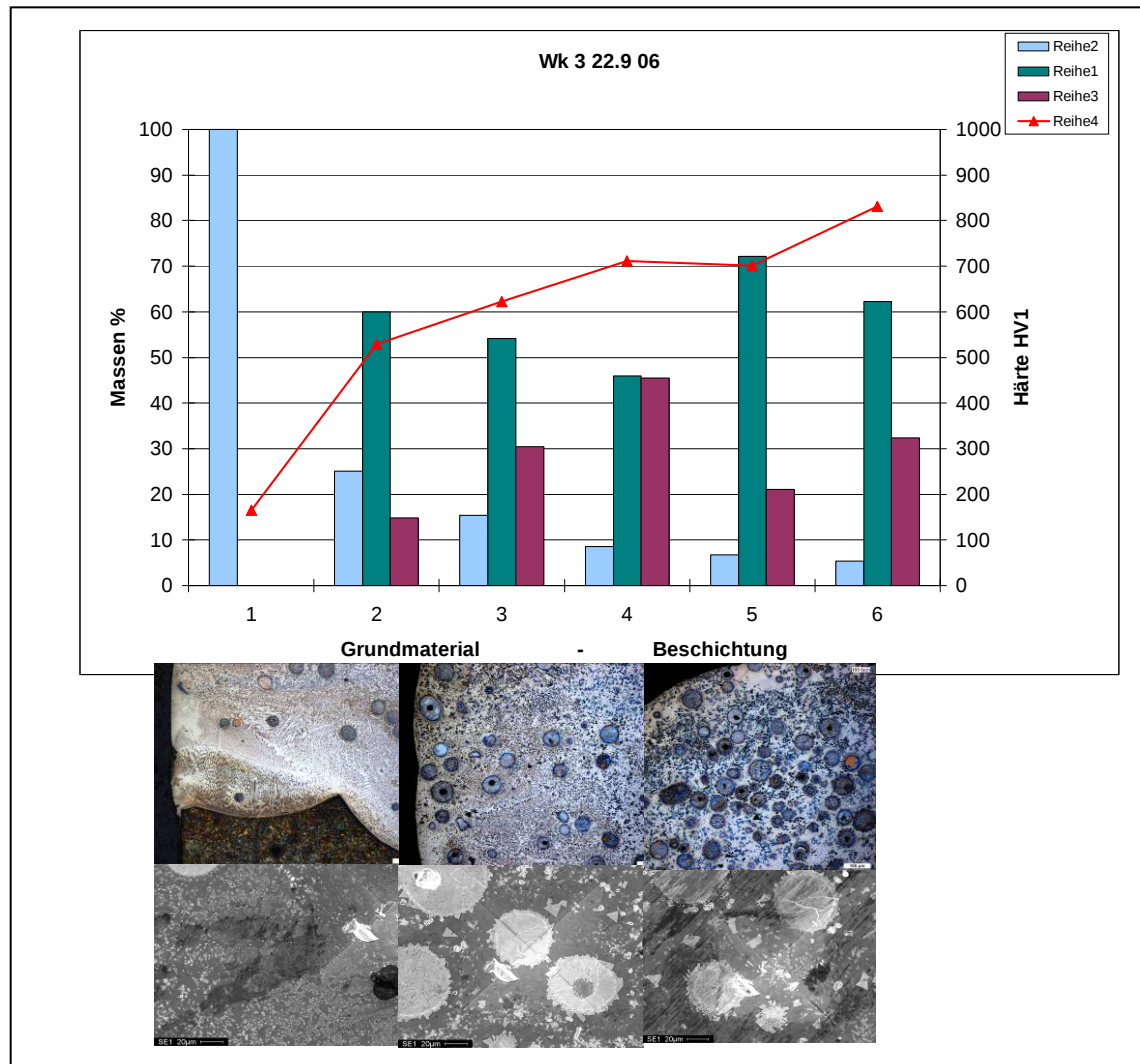
Auftrag direkt auf der Kante ohne Phase (Schicht etappenweise)

Abbildung 3

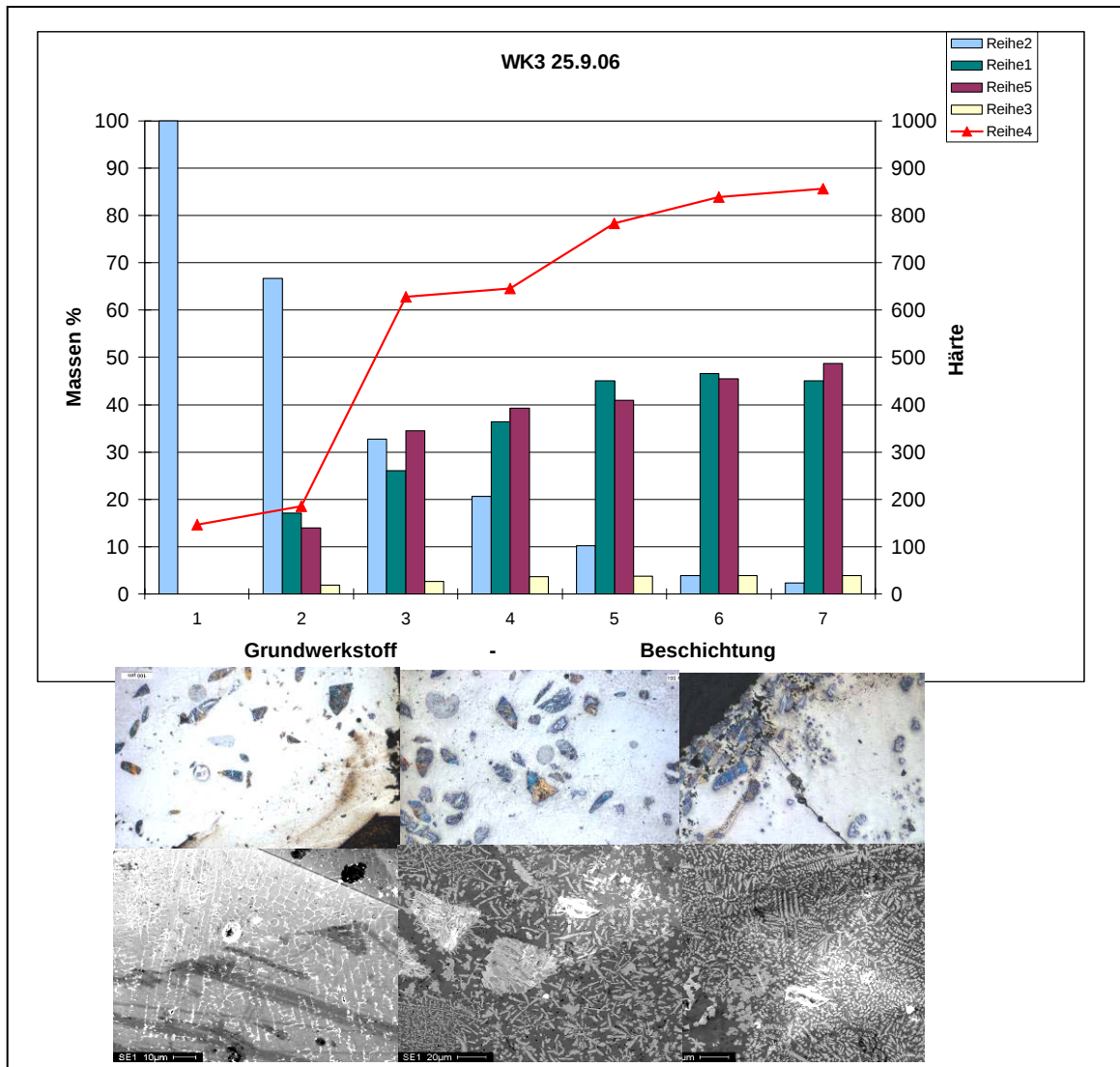
Wie Wk3 vom 22.9.06 weniger Schutzgas direkt auf die Kante

Abbildung 4

Wie Wk3 vom 22.9.06 mit Phase und Strahlachse im Zentrum der Phase

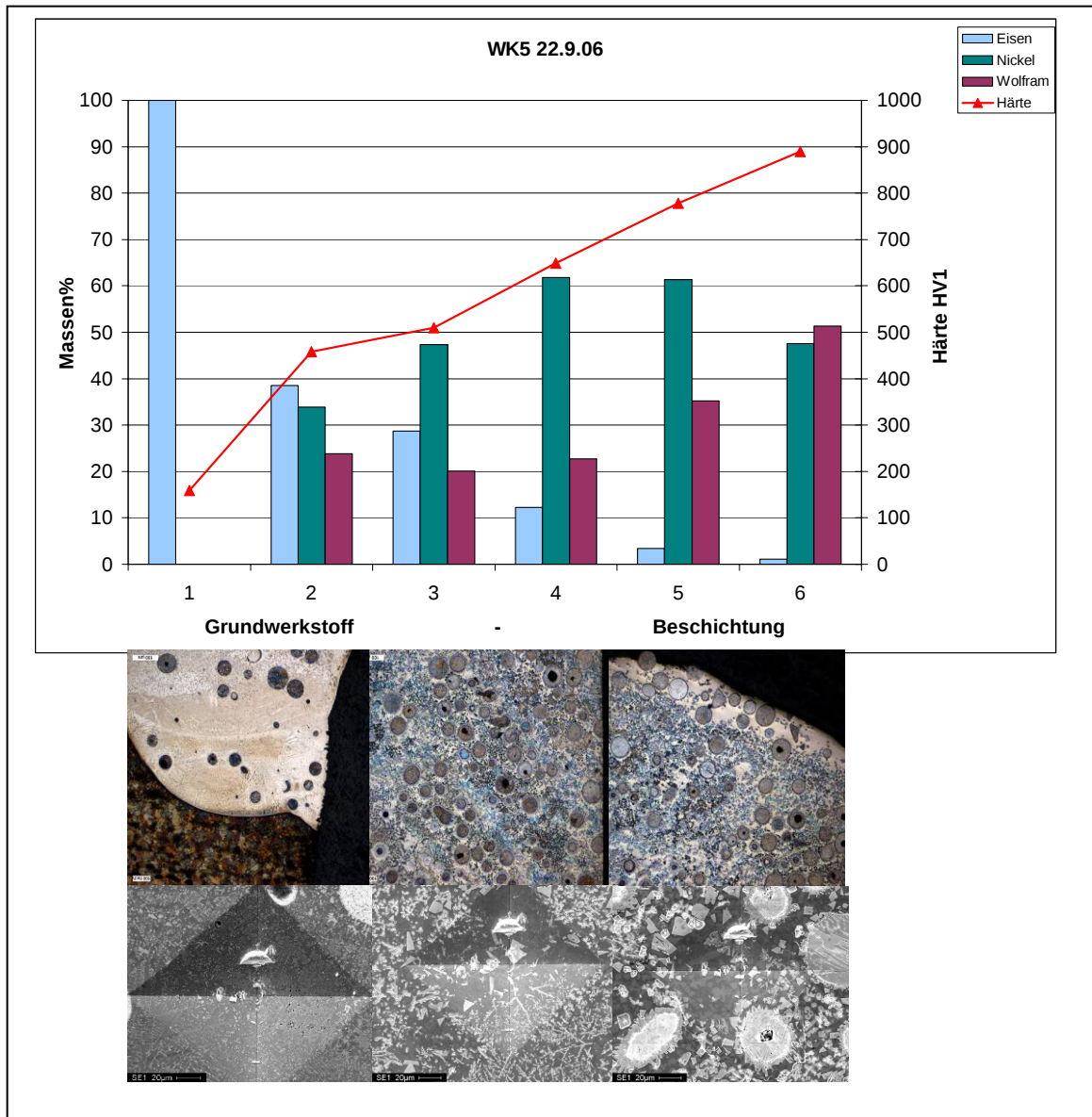
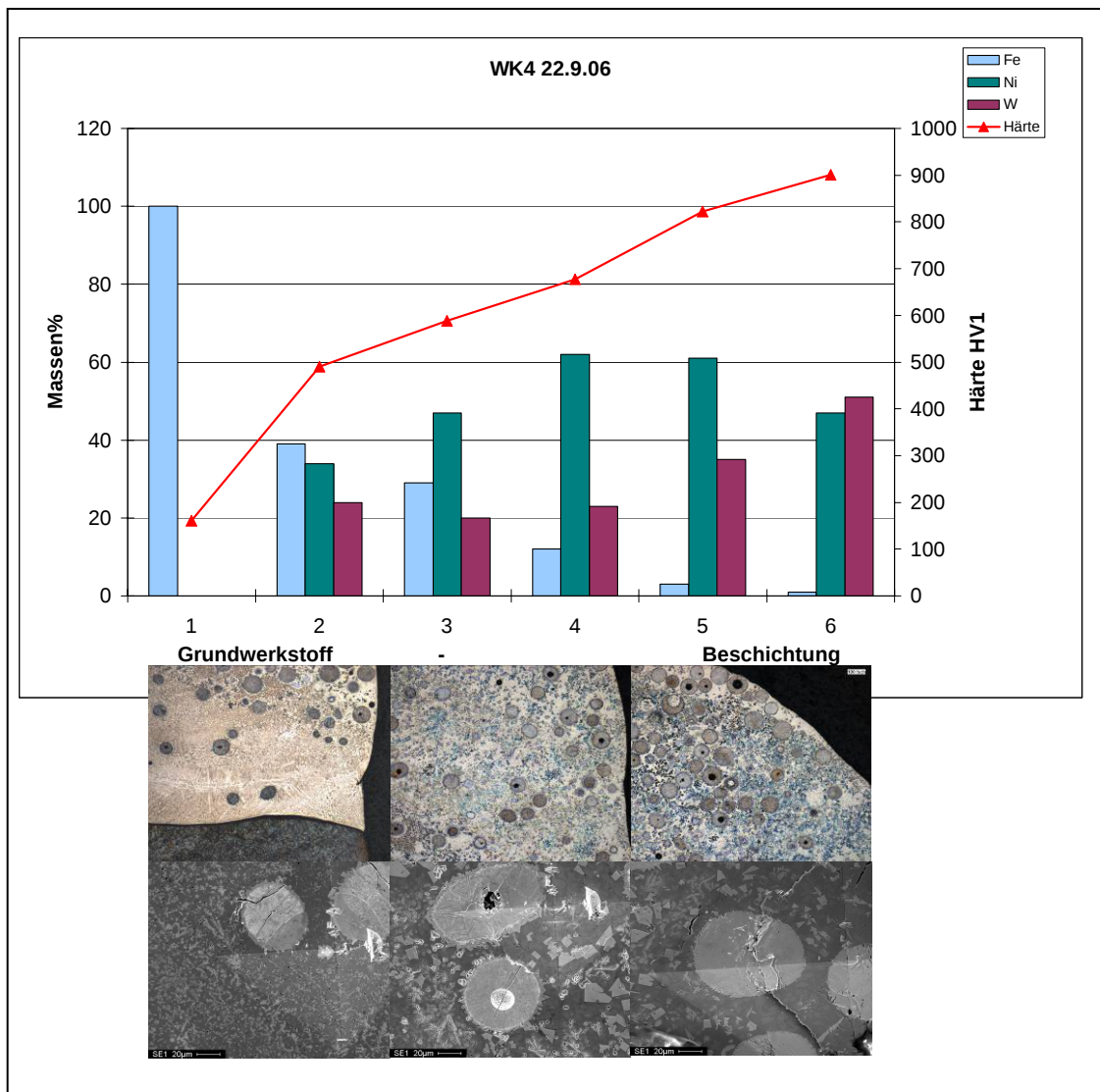


Abbildung 5

Wie Wk3 vom 22.9.06 Kante mit Phase und Strahlachse im Zentrum der Phase



3.2 Unterschiedliche Beschichtungsgeometrien über die Kante

Da die Kantengeometrie, und damit der Auftragswinkel offensichtlich einen deutlichen Einfluss auf den Schichtaufbau ausübt, sollte geklärt werden, welcher Auftrag für die Schichteigenschaften günstig ist. Es zeigt sich, dass bei dem direkten Kantenauftrag der bekannte Schichtaufbau festzustellen ist, die Matrixhärte liegt bei ca. 1000 HV.

Mit Änderung der Auftragsgeometrie kommt es sowohl im analytischen Schichtaufbau als auch bei der Karbidausbildung und der Härte zu signifikanten Änderungen.

Im Extremfall steigt im äußeren Bereich der Wolframanteil auf 80% und die Gefügestruktur weist eine feine vernetzte Wolframkarbidausbildung auf. Bei diesen Proben werden Härten zwischen 1500 und 2000 HV im Oberflächenbereich gemessen.

Abbildung 6

Kante direkt

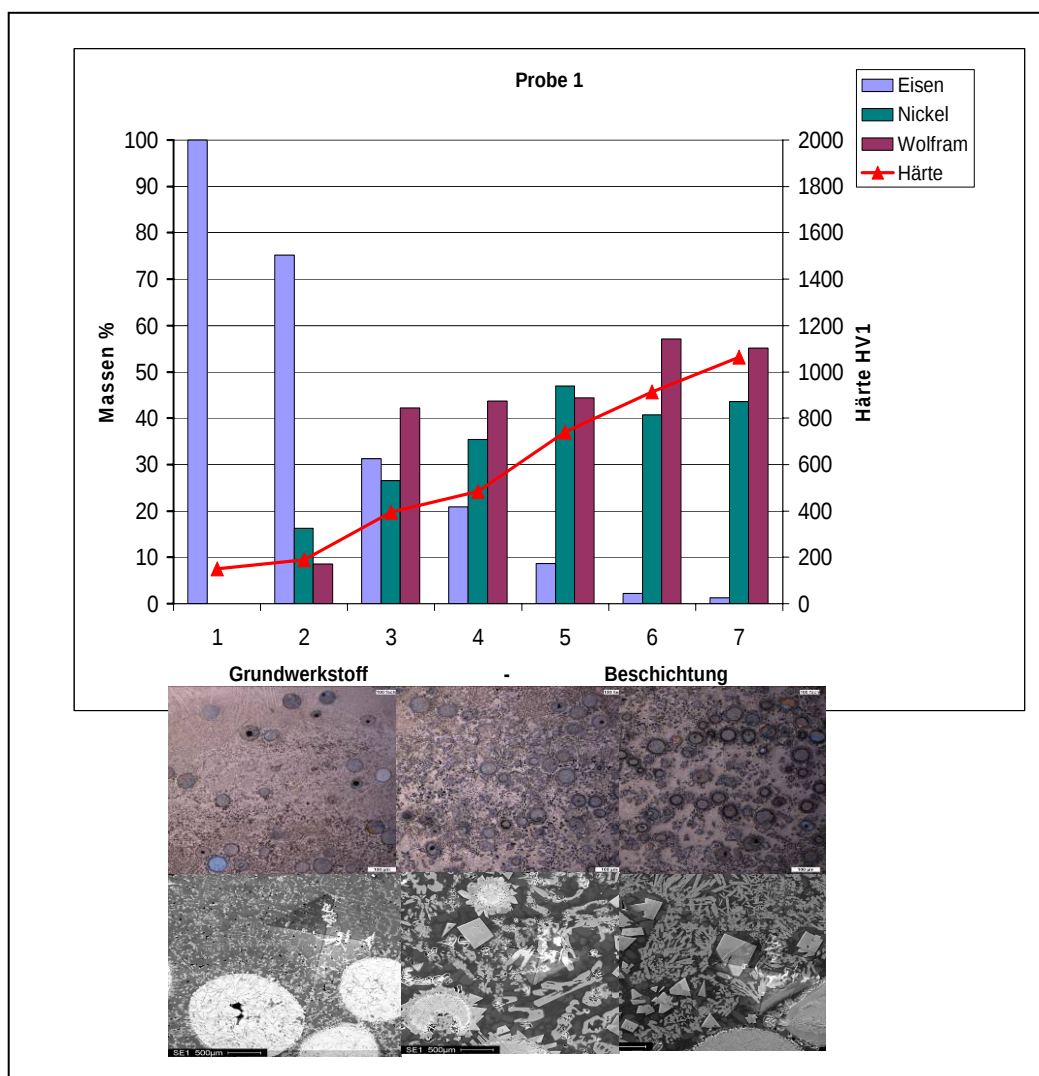


Abbildung 7

Von außen nach innen über die Kante

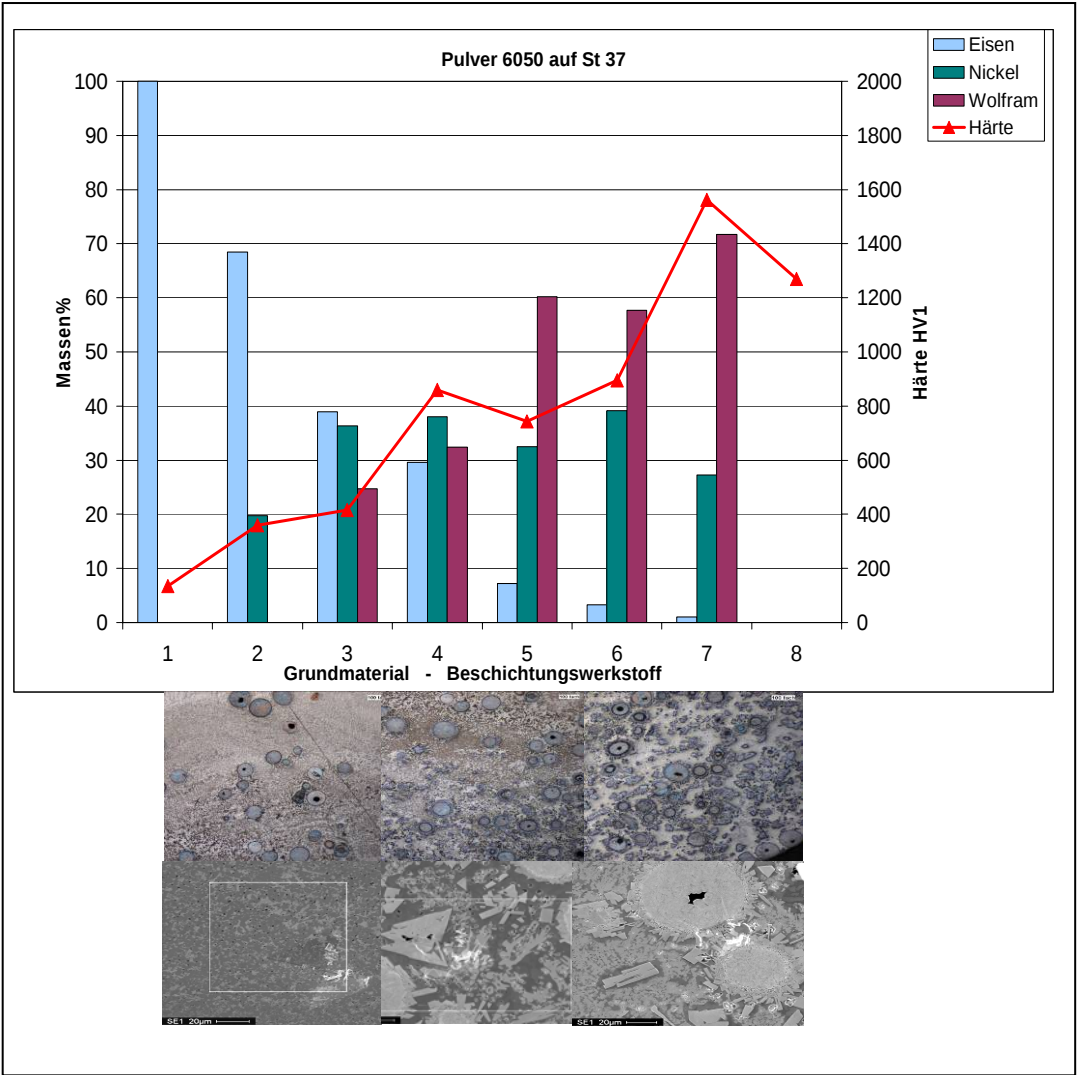


Abbildung 8

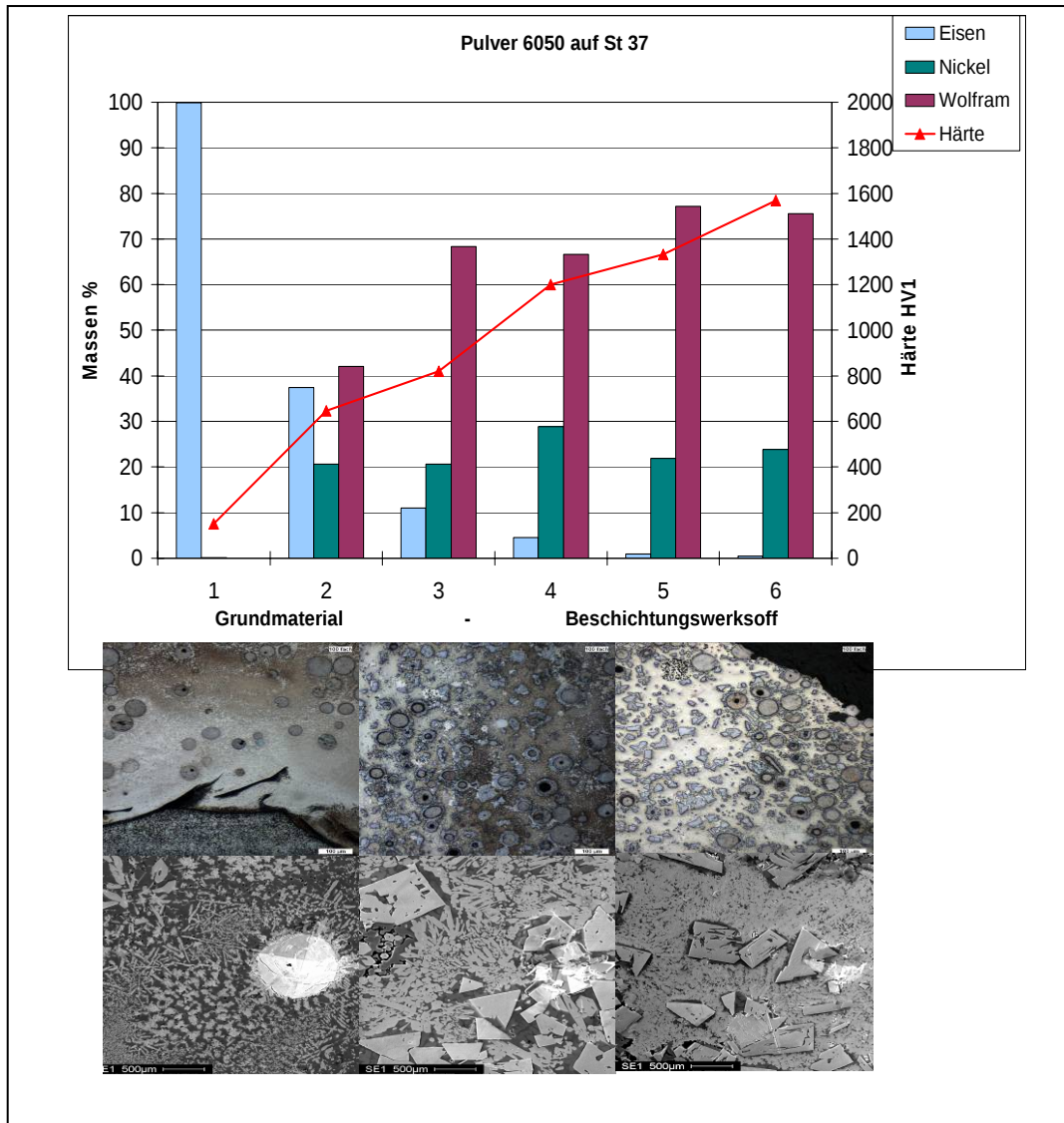
0,5 mm innerhalb der Kante

Abbildung 9

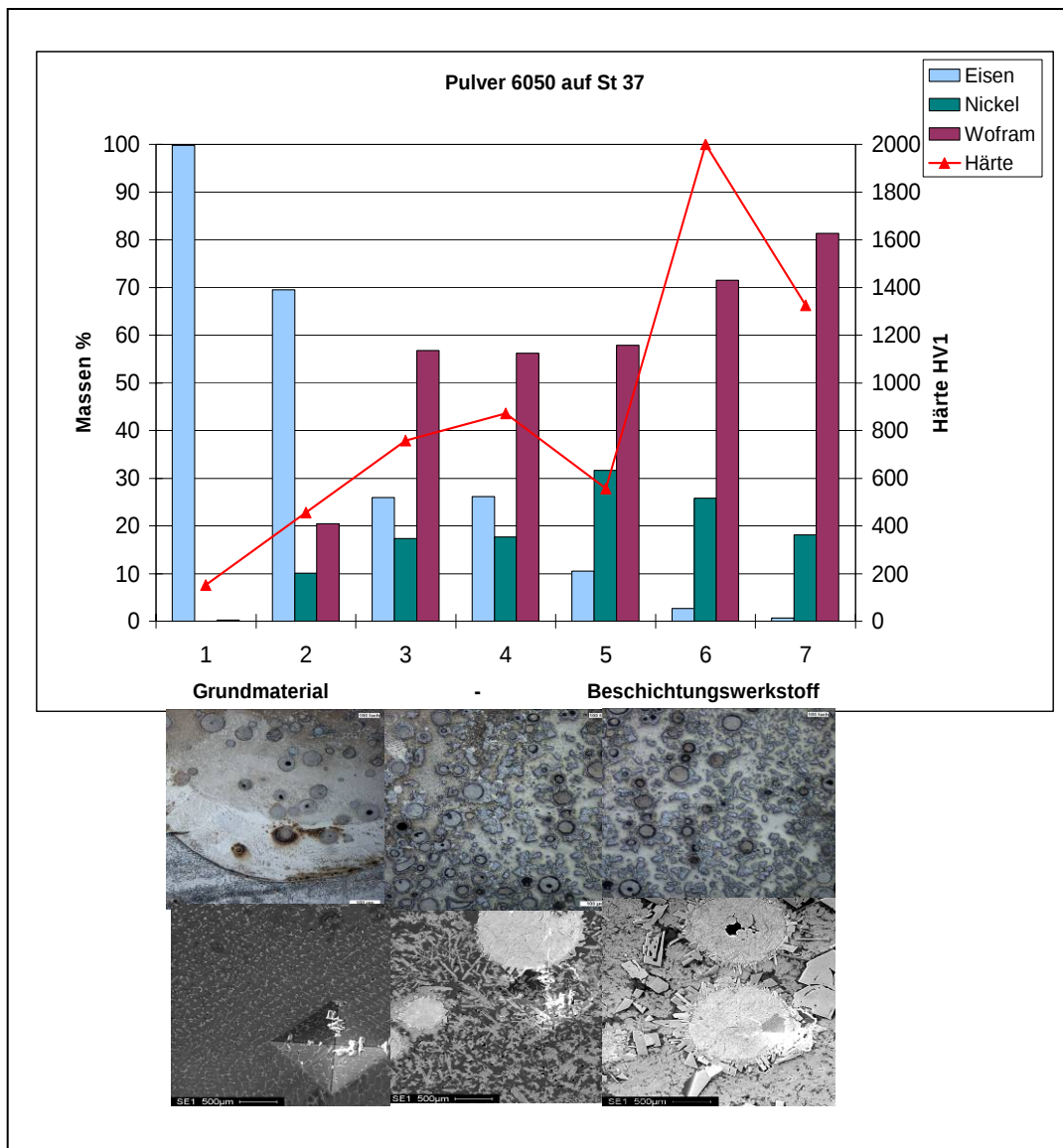
Phase 0,5mm Phase angeschnitten

Abbildung 10

Wie 4 Innenkante

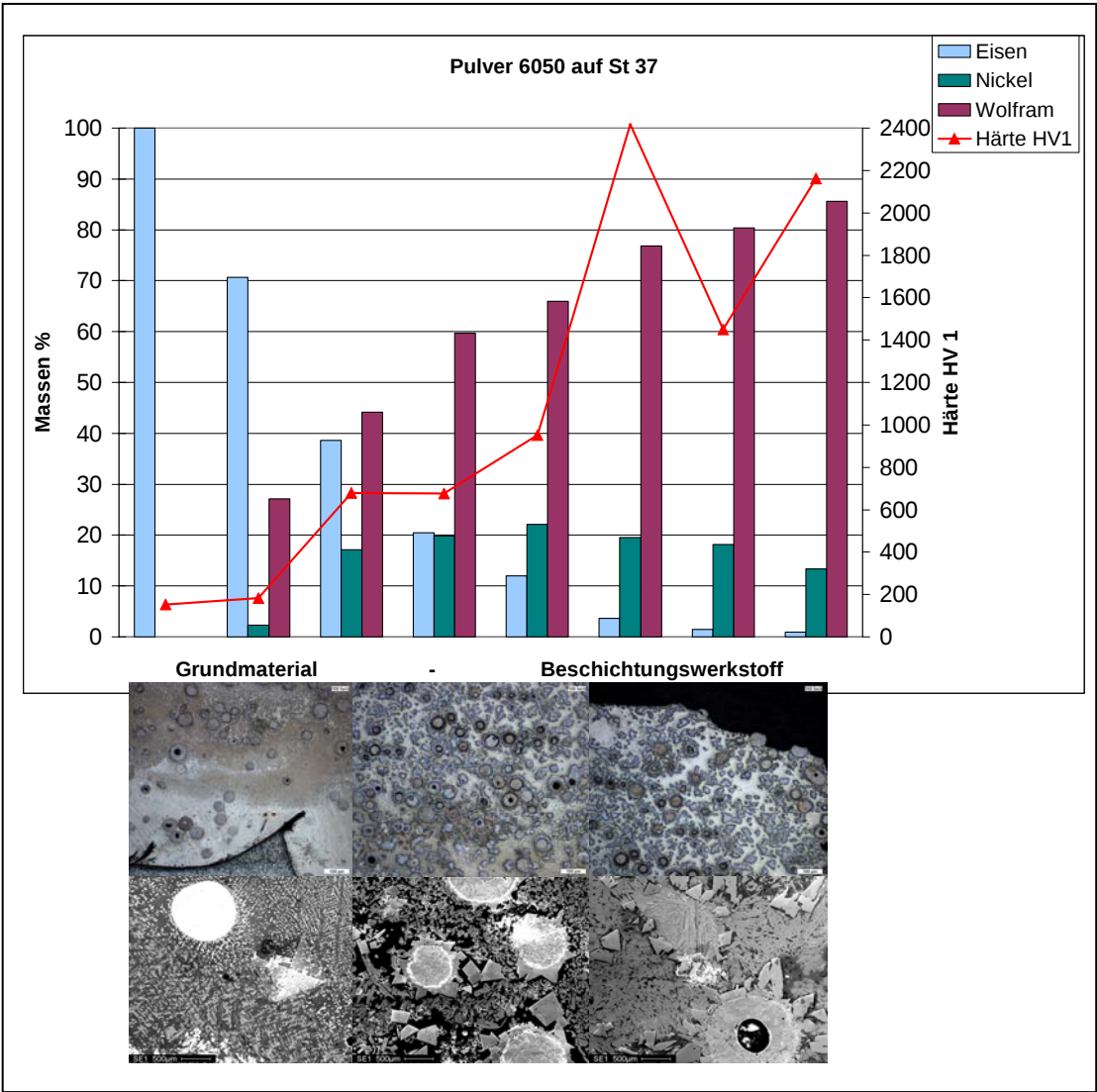


Abbildung 11

Phase 1 mm Phasenmitte

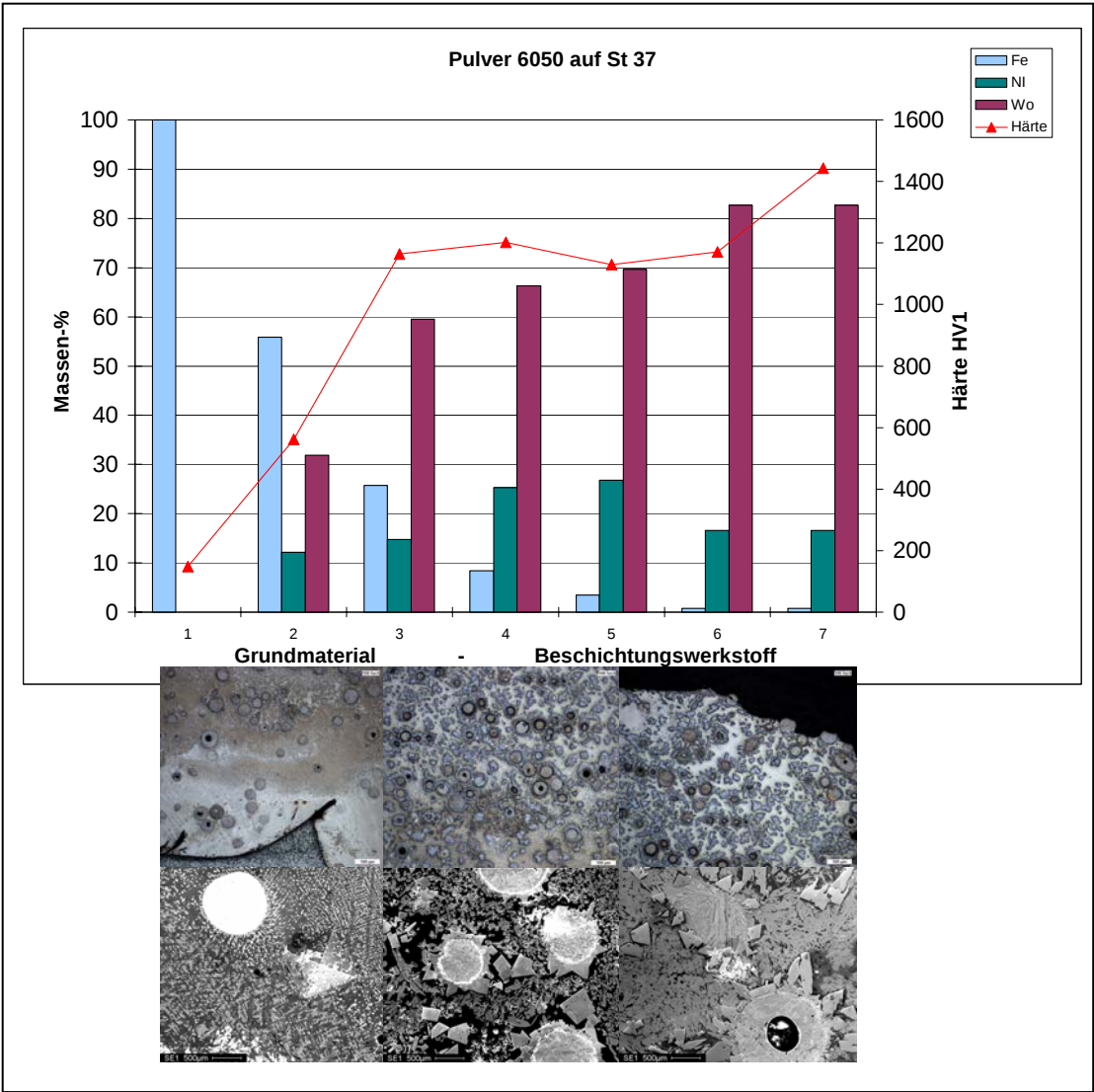
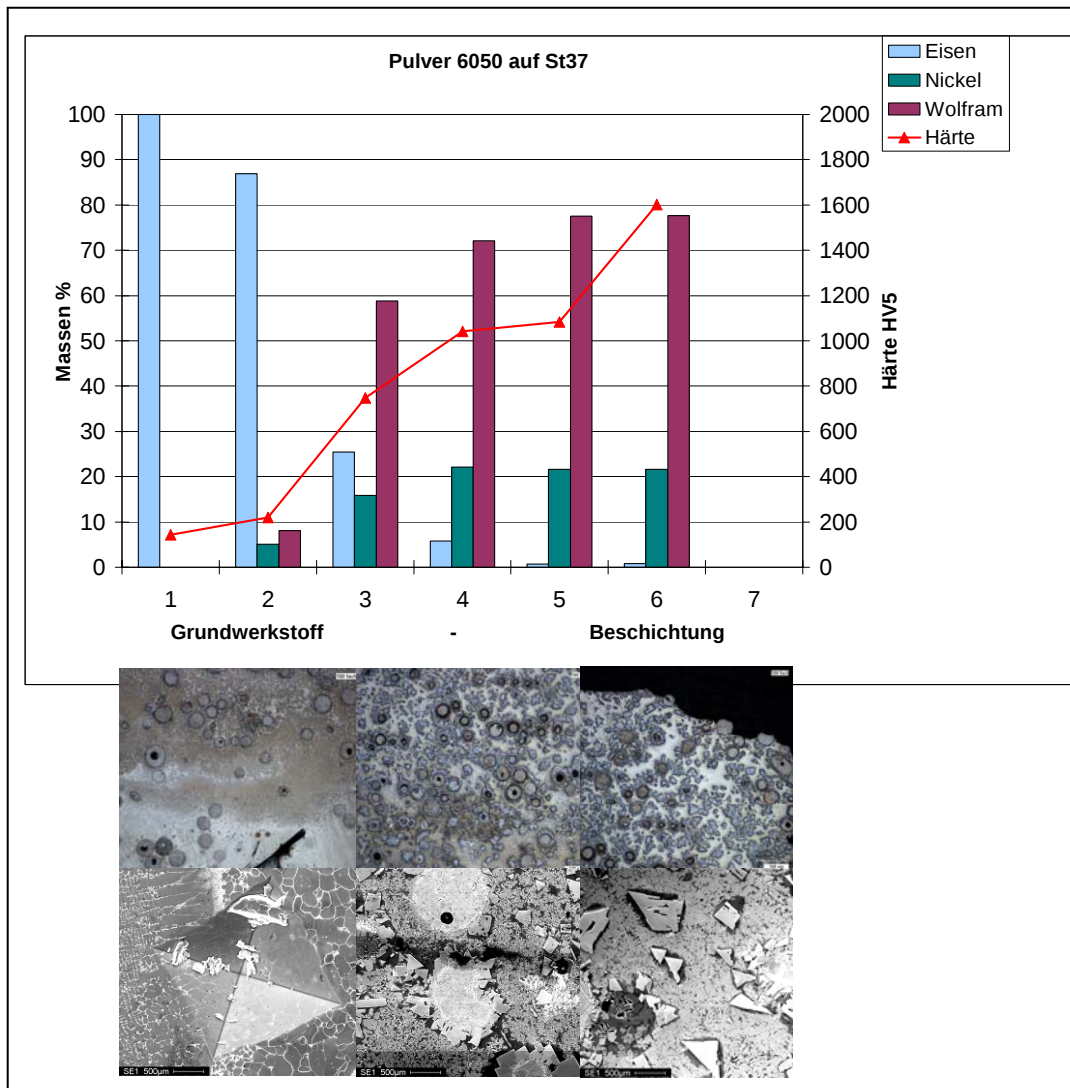


Abbildung 12

Phase 1mm wie 5

3.3 Validierungsuntersuchung auf unterschiedlichen Trägerwerkstoffen

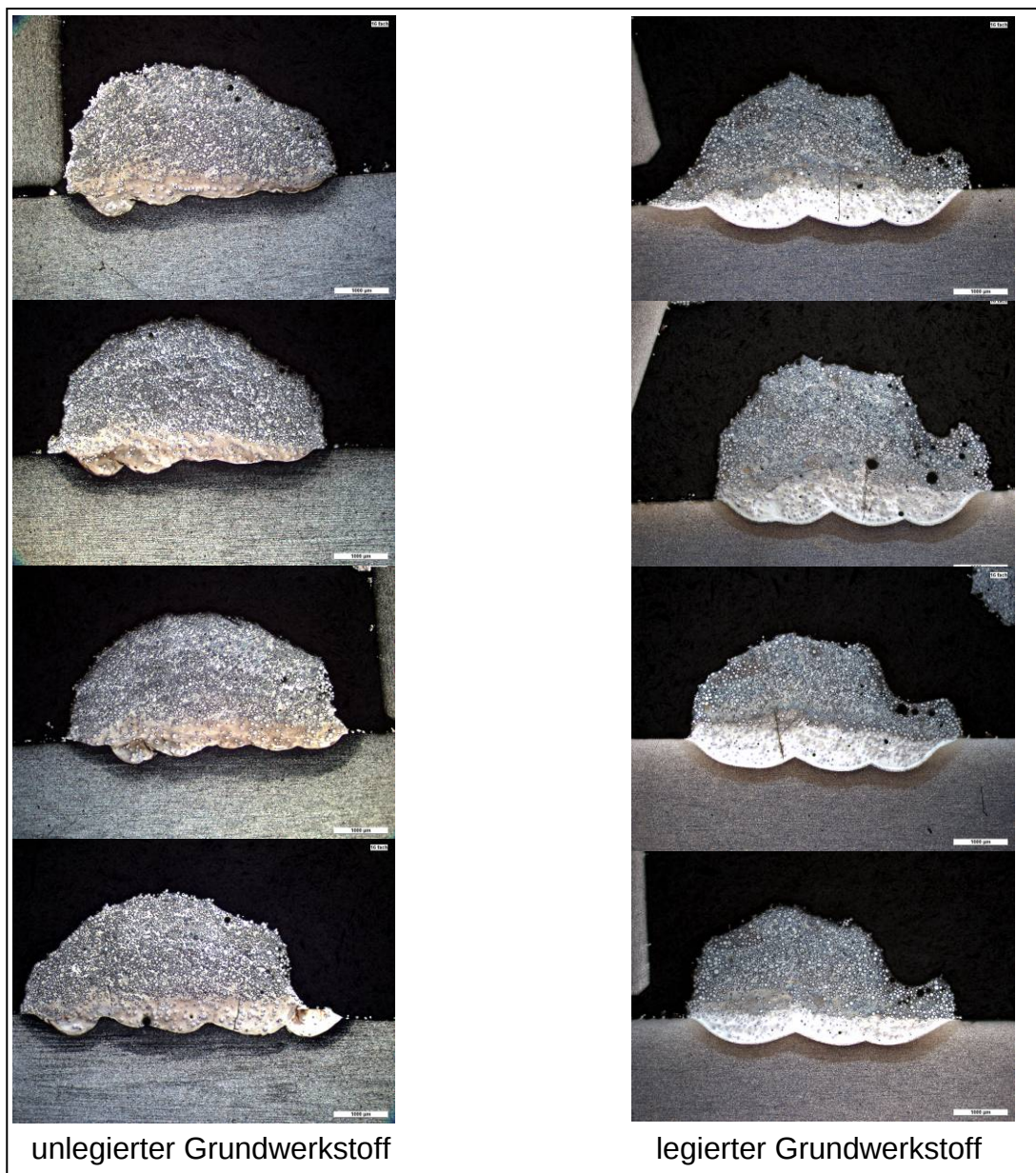
Es stellt sich nun die Frage, in wieweit diese Ergebnisse reproduzierbar sind. Eine Auftragsreihe von je vier Aufträgen auf zwei unterschiedliche Trägerwerkstoffe sollte darüber Aufschluss geben. Dabei wurden als Trägervarianten ein unlegierter niedrig gekohlter und ein legierter hoch kohlenstoffhaltiger Stahl gewählt.

3.3.1 Gefügevergleich

Betrachtet man die Schliffbilder des Schichtaufbaus in der Übersicht, so sieht man, dass innerhalb einer Gruppe der Aufbau sehr ähnlich ist, die unterschiedlichen Trägerwerkstoffe aber einen deutlichen Einfluss ausüben. So bildet sich, die Übergangszone des legierten Stahl deutlich anders aus, die Schicht hat eine unebene Oberfläche und die Beschichtung des höher legierten Materials ist mit den vorgegebenen Bedingungen nicht rissfrei herzustellen.

Abbildung 13

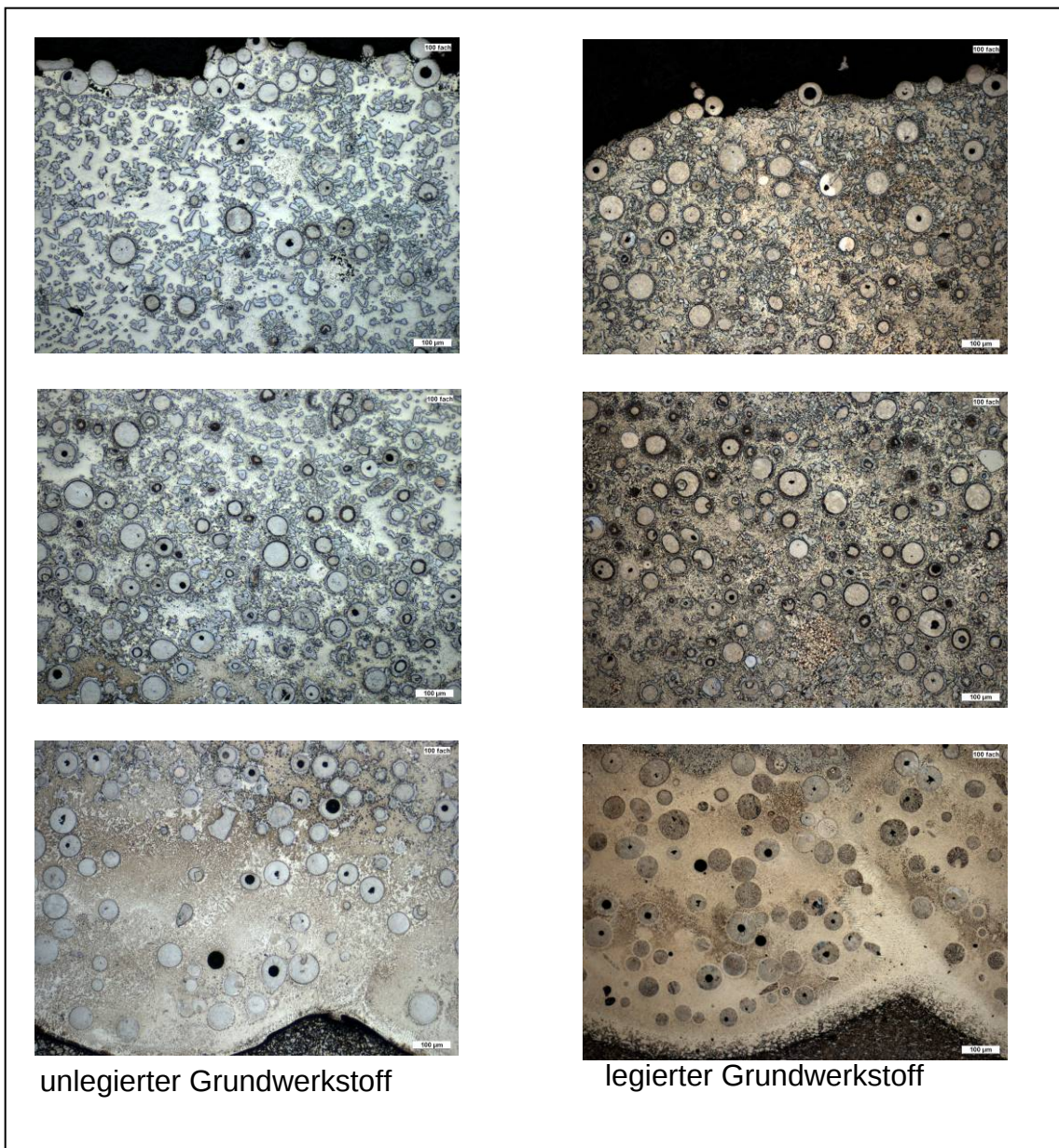
Beschichtung im Gefügevergleich



Die Betrachtung der Mikrostruktur im Lichtmikroskop zeigt die Unterschiede kaum. Es ist lediglich zu erkennen, dass das legierte Trägermaterial im Schmelzkontaktbereich Härtegefüge aufweist und der Übergangsbereich an Wolframkugeln verarmt ist.

Abbildung 14

Schichtaufbau im Gefügevergleich



3.3.2 Vergleich der Beschichtungszusammensetzung und der Härte

Betrachtet man den Härteverlauf aller 5 Proben untereinander, so zeigt sich ein sehr vergleichbares Härtebild. Auch der Verlaufsvergleich beider Trägerwerkstoffe ist nicht relevant unterschiedlich. Lediglich erfolgt, bedingt durch die Aufhärtung der Kontaktzone bei dem legierten Stahl sofort ein Härteanstieg und es kommt somit zu einer gleichmäßigeren Härtesteigerung. Auch liegt die Endhärte, vermutlich durch den höheren Karbidanteil, als Folge des höheren Kohlenstoffgehaltes, etwas höher. Erstaunlich ist, dass im Außenbereich alle 10 Proben eine Matrixhärte über 1400 HV aufweisen.

Betrachtet man nun die Mittelwerte und vergleicht sie, so zeigt sich ein linearer Härteanstieg bei dem legierten Trägermaterial und ein etwas verzögerter Härteanstieg bei dem unlegierten Werkstoff.

Die Ermittlung der Zusammensetzung im Rasterelektronenmikroskop ergibt ein analoges Bild. Es zeigen sich in dem Schichtaufbau innerhalb eines Trägerwerkstoffes, aber auch im Vergleich bei unterschiedlichen Werkstoffen, kaum entscheidende Unterschiede. Es ist also davon auszugehen, dass bei konstanten Beschichtungsbedingungen gleichmäßige Ergebnisse zu erwarten sind.

Abbildung 15

Härtevergleich der 5 Proben –

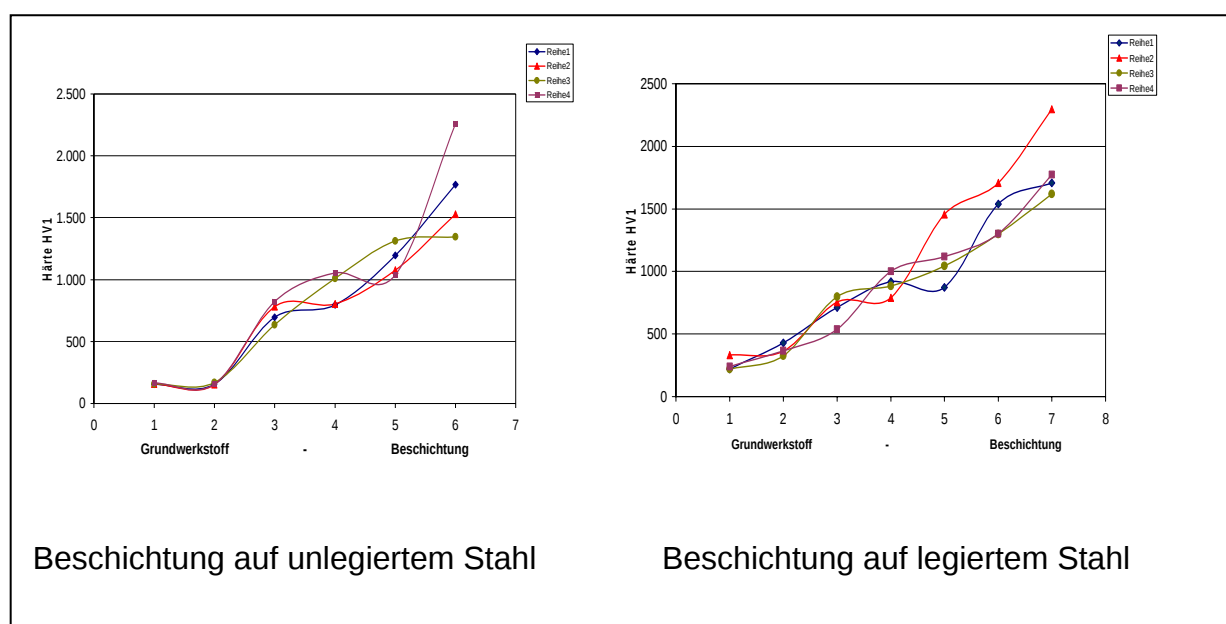


Abbildung 16

Vergleich der Mittelwerte- Beschichtung auf legiertem und unlegiertem Stahl

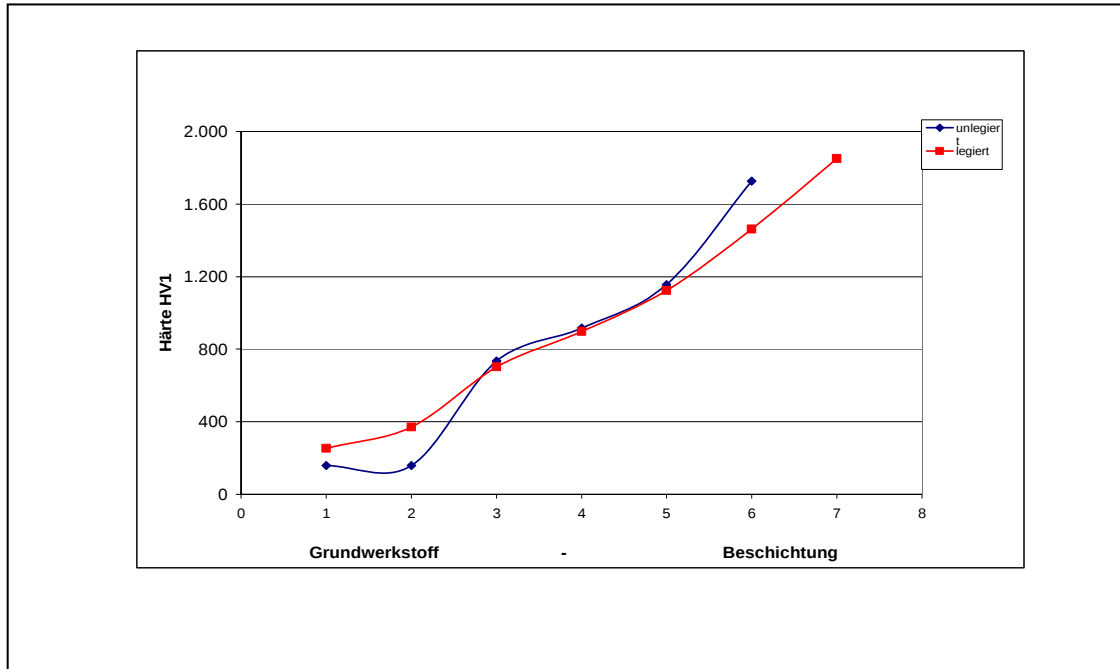


Abbildung 17

Vergleichsuntersuchung der Zusammensetzung auf unlegiertem Stahl

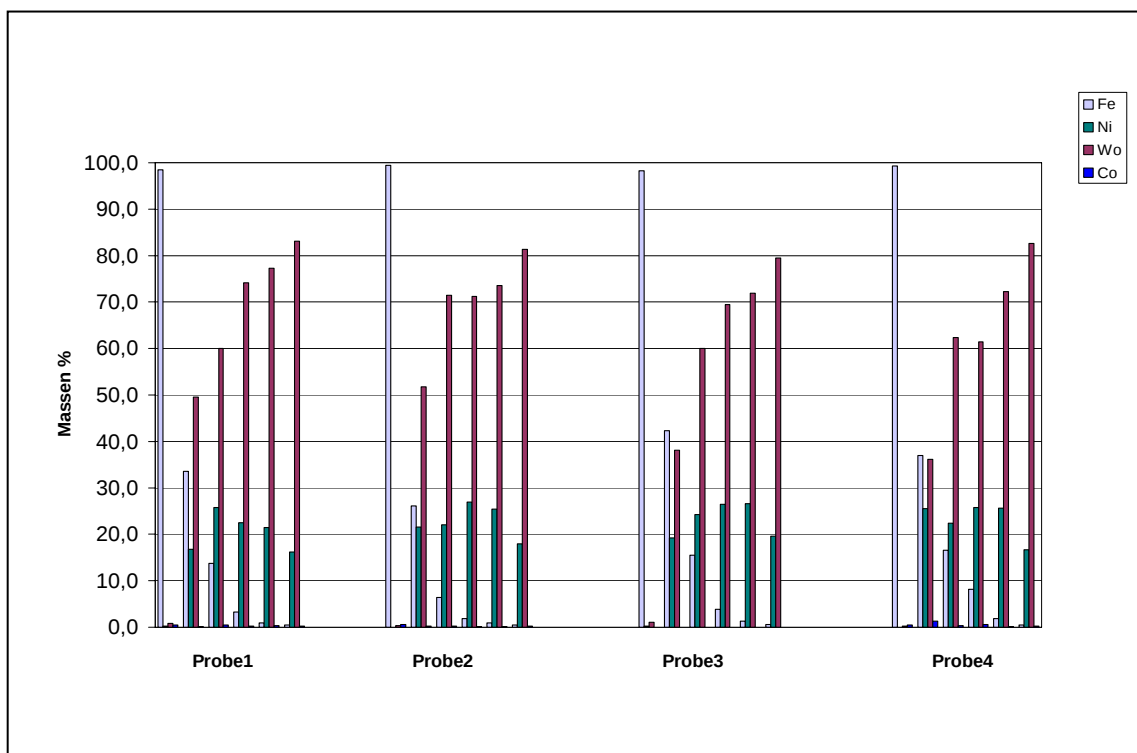


Abbildung 18

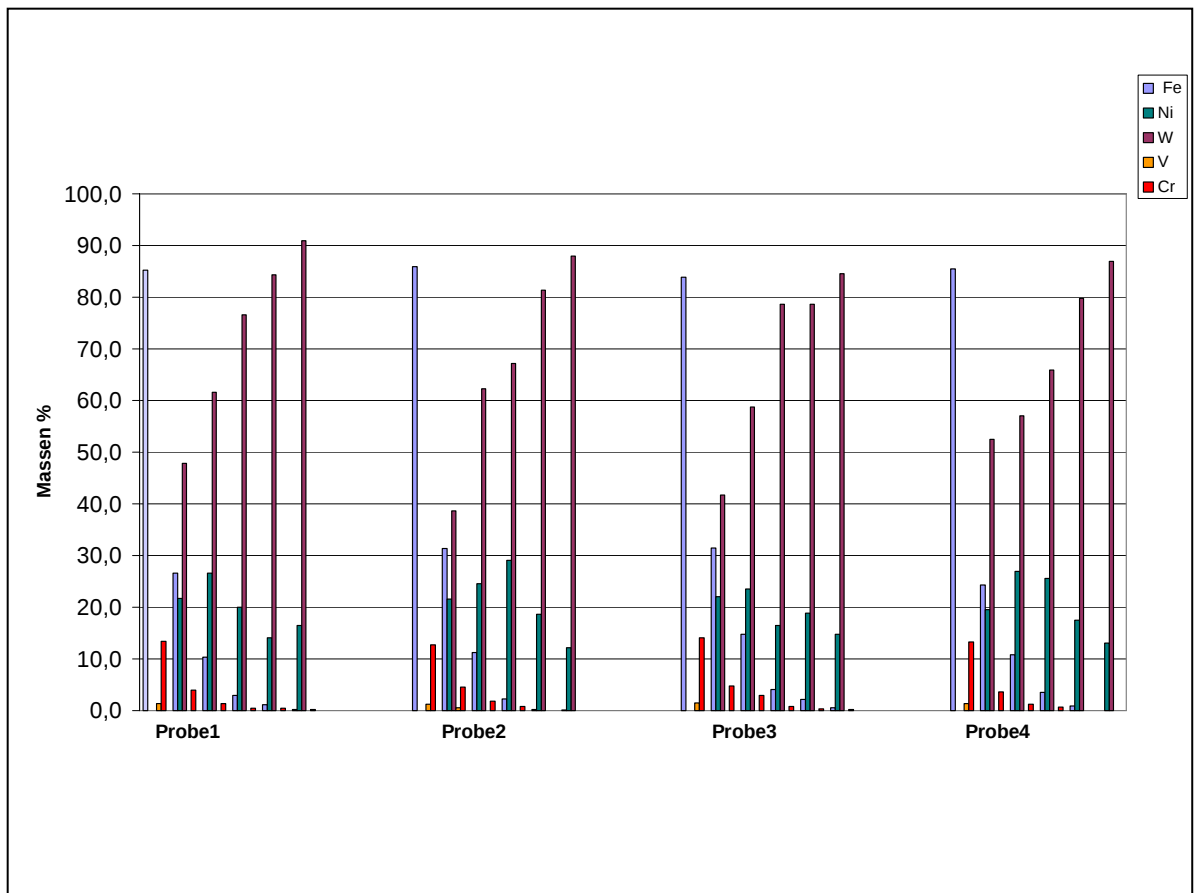
Vergleichsuntersuchung der Zusammensetzung auf legiertem Stahl

Abbildung 19

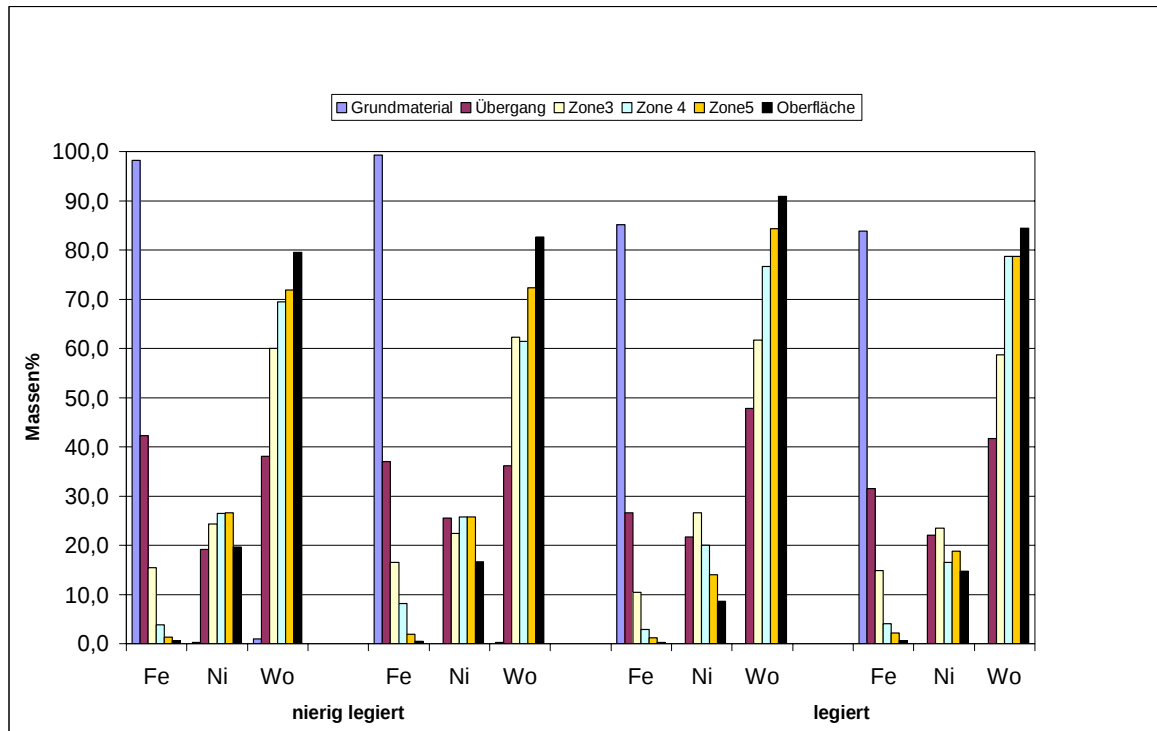
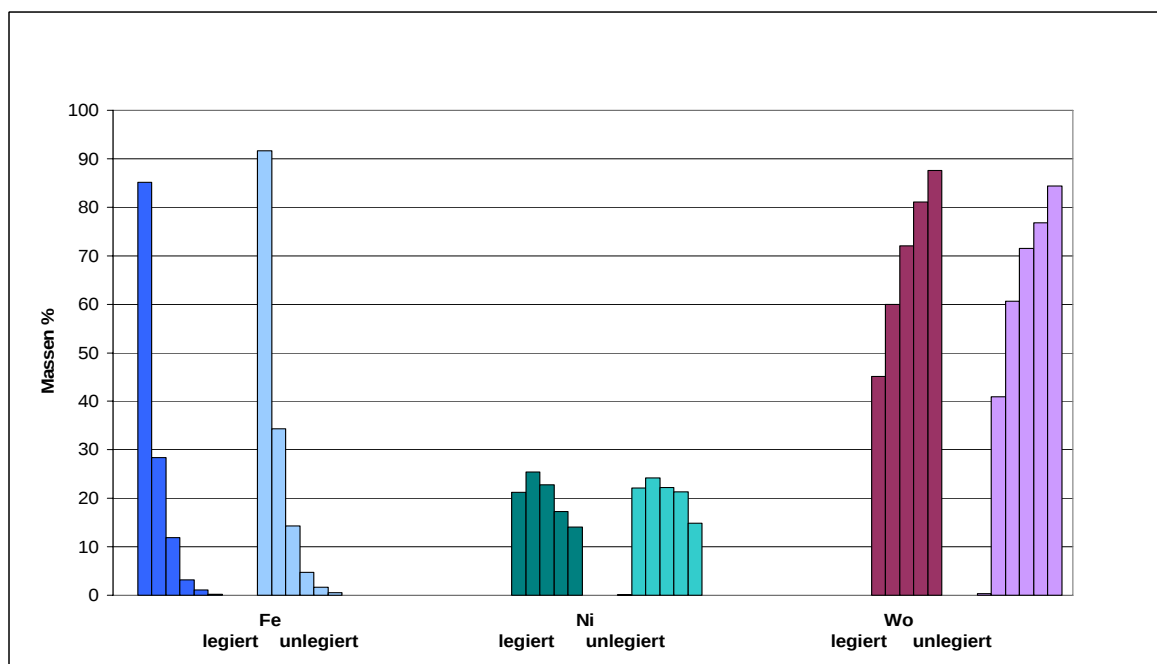
Vergleich der Zusammensetzung auf beiden Trägerwerkstoffen

Abbildung 20

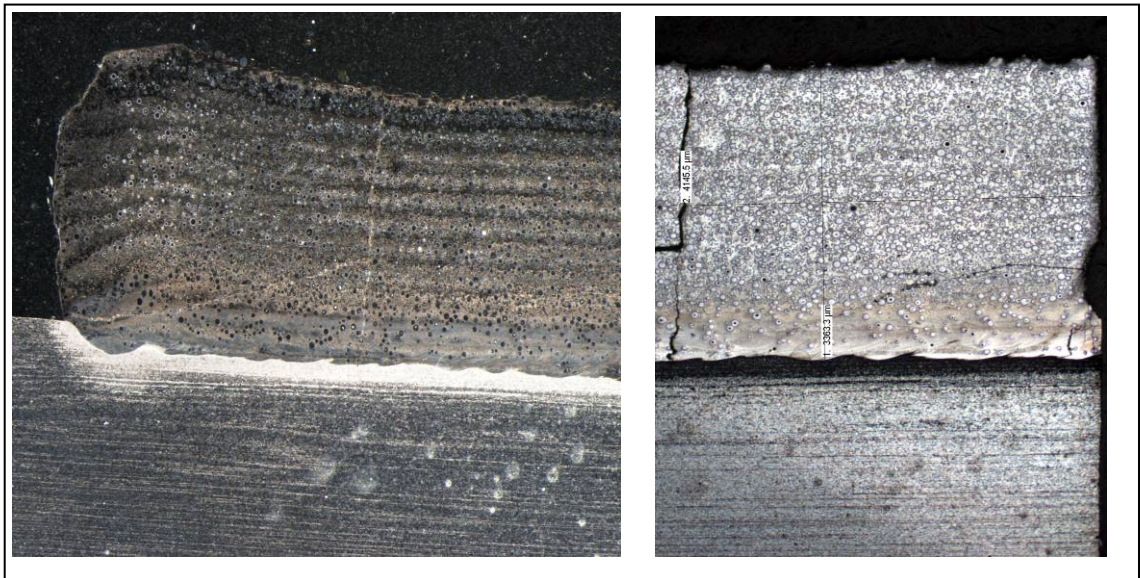
Mittelwert der Zusammensetzung

3.4 Untersuchung flächiger Dickbeschichtungen

Da nach unseren Erkenntnissen die Härte und der Karbidanteil im Oberflächen nahen Bereich durch den hohen Energieeintrag zunimmt, sollte versucht werden eine größere Fläche möglichst dick zu beschichten. Ab der 8. Lage sind deutliche Laute der Rissbildung zu hören. Unter dem Stereomikroskop zeigen sich dann immer im konstanten Abstand Risse, die vom Wurzelbereich der Schweißung ausgehen.

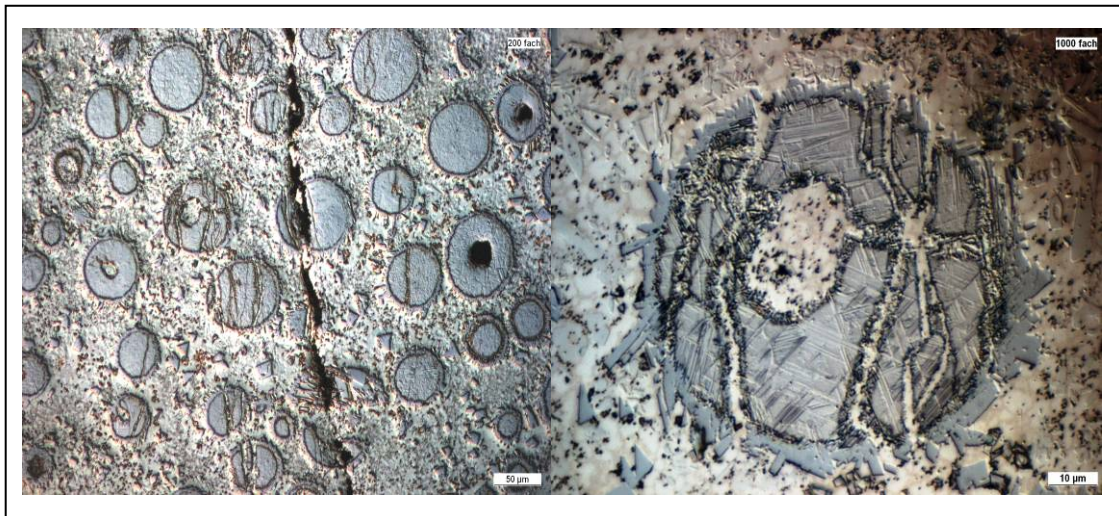
Abbildung 21

Dickbeschichtung mit Rissen



Betrachtet man den Rissbereich, so erkennt man, dass in diesem Bereich der Matrix und vor allem die harten Karbide eine große Anzahl gleich verlaufender Risse aufweisen. Diese werden durch die flüssige Restschmelze laufend repariert. Ist die Beschichtung zu dick, so kann diese Füllung der Risse im unteren Bereich der Beschichtung nicht mehr erfolgen.

Abbildung 22

Mikrostruktur der Risse**Untersuchung der Ausdehnungskoeffizienten im Dilatometer**

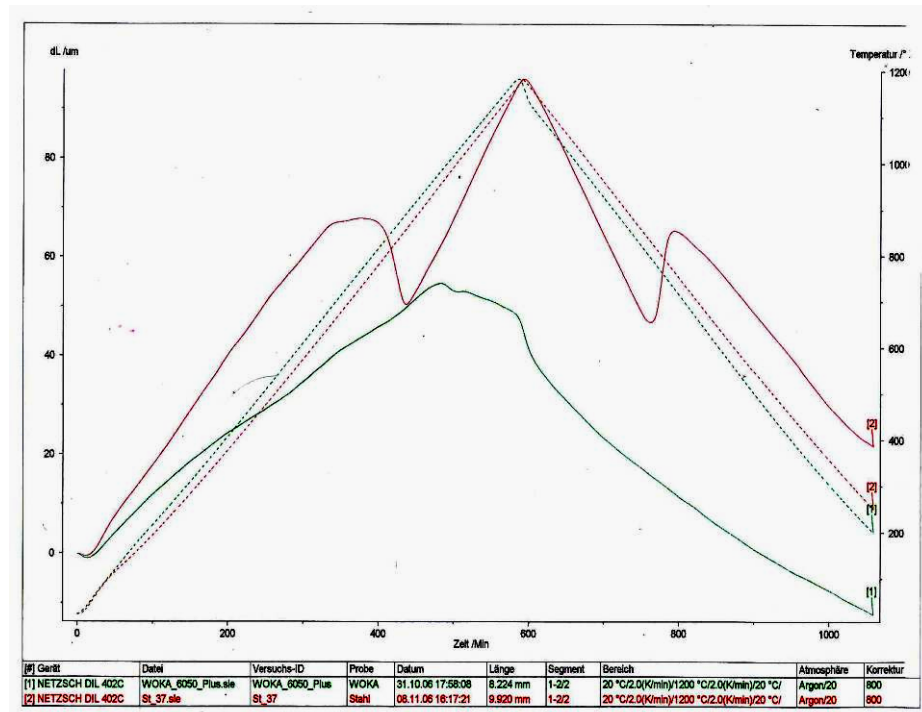
Da die Rissbildung nur bei flächiger Dickbeschichtung festzustellen ist und immer in konstanten Abständen auftritt, lag der Schluss nahe, die Rissbildung bei dem Wärmeausdehnungskoeffizienten zu suchen. Eine Messung im Dilatometer sollte zeigen wie die Aufheiz- und Erstarrungskurven des Trägerwerkstoffes und der Beschichtung sich darstellen.

Man erkennt, dass die Beschichtung sich nahezu konstant bei der Erwärmung ausdehnt und ebenso beim Erkalten zusammenzieht (grüne Linie).

Der Eisenwerkstoff macht diese Entwicklung nur bis zu seiner Gitterumwandlung mit. Dementsprechend kommt es zu einer Kontraktion des Materials bei der Erwärmung und einer Ausdehnung beim Erkalten (violette Linie).

Dies führt dann bei einer starren Verbindung mit der linear verlaufenden Kontraktion der Deckschicht beim Erkalten zu diesen Rissen.

Abbildung 23

Dilatometerkurve Trägerwerkstoff – Beschichtung

3.5 Gefügeuntersuchung in verschiedenen Beschichtungsebenen im REM

Die Mikroschliffe zeigen im Rasterelektronenmikroskop im unteren Bereich der Beschichtung noch große W_2C -Karbide. Ein Teil des Wolframs ist in Lösung gegangen und hat sich dann als kantiges und körniges Karbid wieder ausgeschieden. Dabei erfolgte eine teilweise Umwandlung der W_2C Karbide in WC Karbide.

Im Zentrum stellt man eine Zunahme der Karbidmenge fest. Es lösen sich jedoch die W_2C von der Karbidmitte her auf.

Die Deckschicht weist nur noch wenige Kugeln auf. Der größte Teil der Gefügestruktur besteht aus einem korallenartig ausgebildeten Wolframkarbidnetz mit Nickelmischkristallen in den Zwischenräumen. Diese Gefügebildung bewirkt die hohe Härte und dürfte der Garant für eine gute Zähigkeit sein.

Abbildung 24

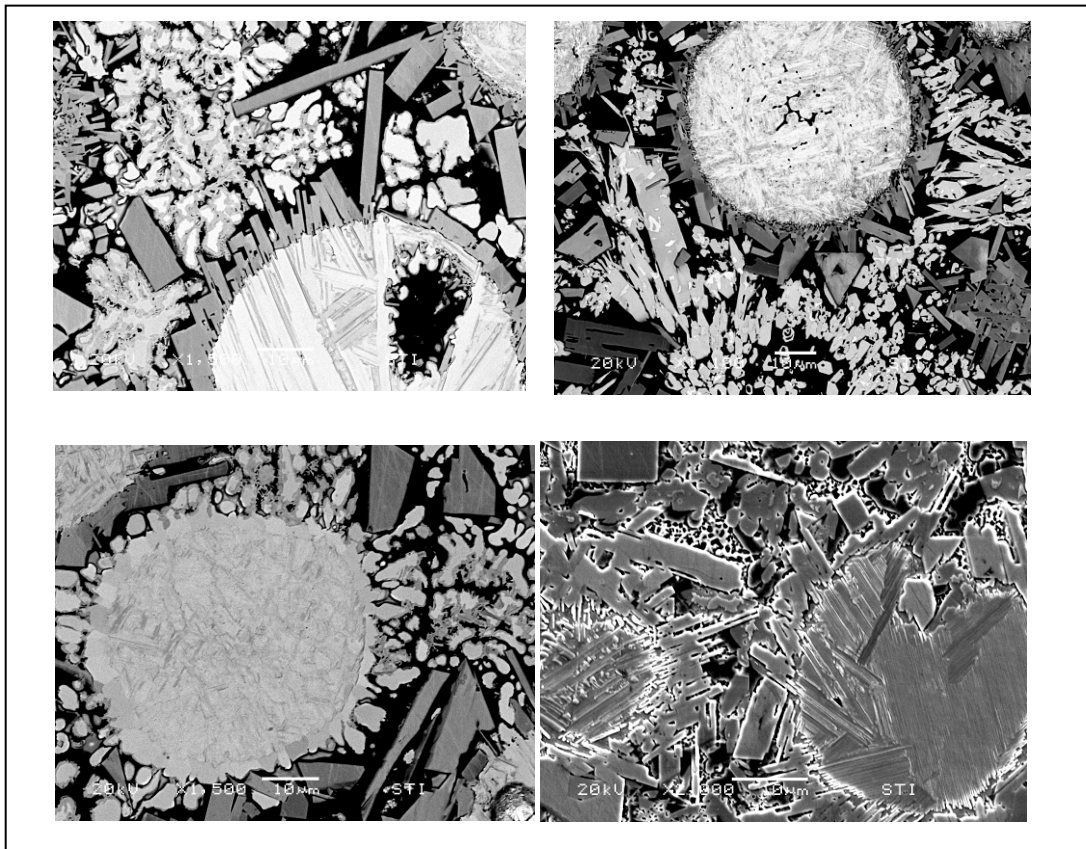
Mikrostruktur im Übergangsbereich

Abbildung 25

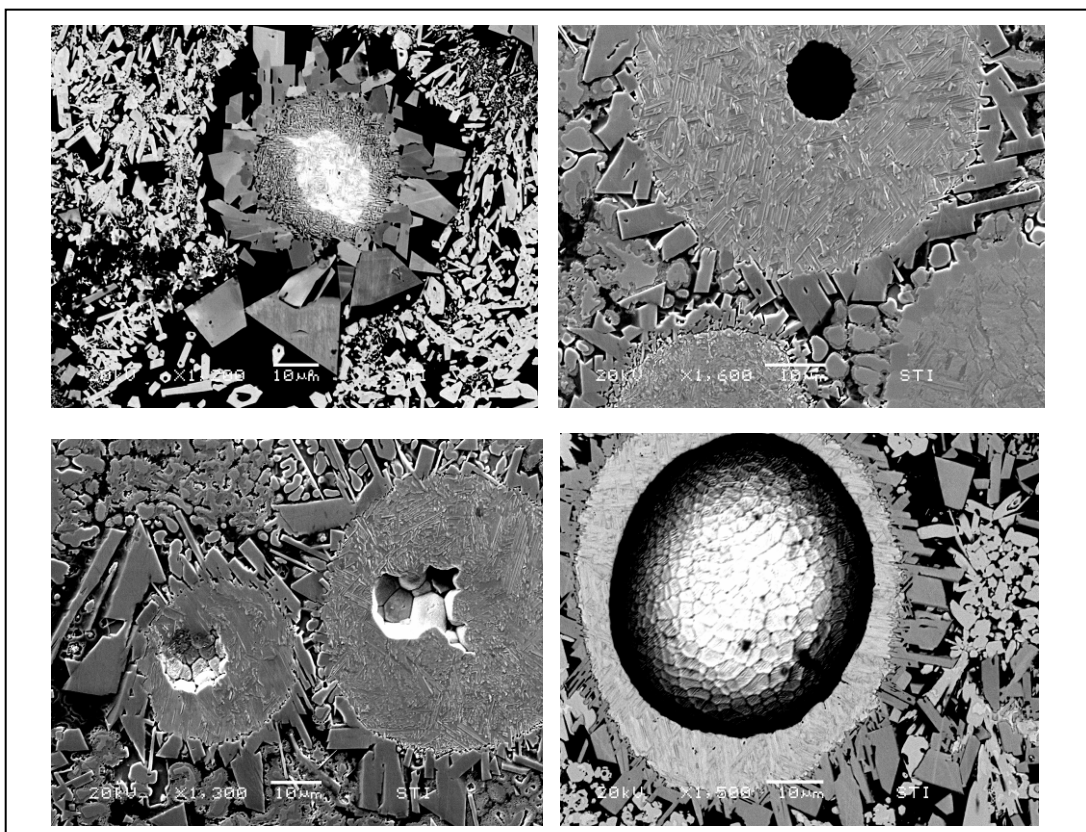
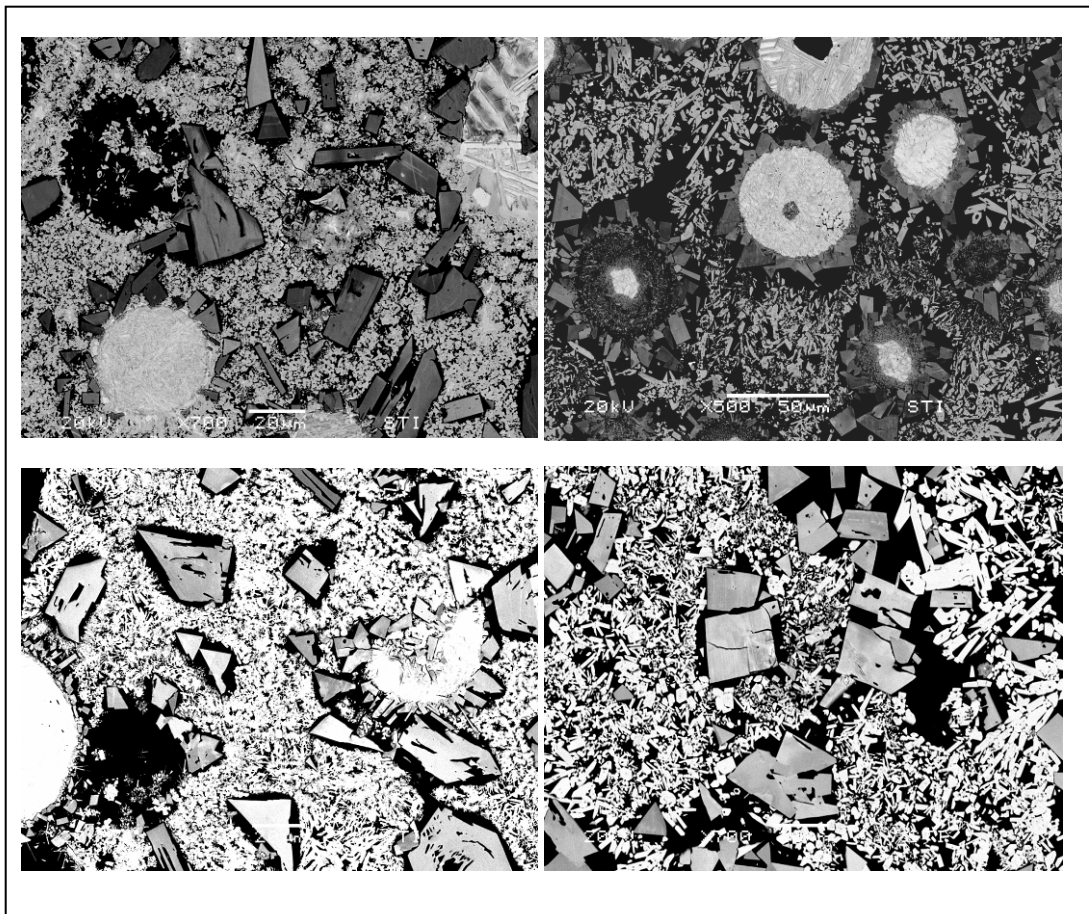
Mikrostruktur im Zentrum

Abbildung 26

Mikrostruktur im Bereich der Oberfläche

Manfred Moik

**Veränderung der Exzentrizität der Rohre beim Gleitziehen mit-
tels Variation der Einlaufrichtung**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	91
2	Beschreibung der Exzentrizität von Rohren	92
3	Plastomechanische Beschreibung des Gleitziehens von Rohren	97
4	Beschreibung der Versuche	103
5	Anwendung der gefundenen Ergebnisse	110
6	Literaturverzeichnis	111

1 Einleitung

Rohre aus metallischen Werkstoffen finden eine vielfältige Anwendung. Die Abmessungen reichen von den Kapillarrohren von 1-2 mm Durchmesser bis zu Rohren von 1000 mm Durchmesser. Allein in der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich etwa 180.000t Kupferrohre produziert. Da bei diesen Rohren die kleinste Wanddicke in einer Norm festgelegt ist, wird aus wirtschaftlichen Gründen angestrebt ein möglichst gleichwandiges Rohr zu erzeugen, damit die mittlere Wanddicke möglichst gleich der minimalen Wanddicke ist.

Meistens wird die Größe eines Rohres gekennzeichnet durch die Angabe des äußeren Durchmessers d_a und der Wanddicke s . Für die Produktion muss jedes Maß mit einer Toleranz versehen sein. Es ist einfach zu sehen, dass es nicht genügt, für den Durchmesser und die Wanddicke einen Toleranzbereich anzugeben. Je nach Anwendung muss für den Durchmesser ein Toleranzbereich für den mittleren Durchmesser $d_m = 1/2 \cdot (d_{\max} + d_{\min})$ und die Ovalität $\Delta d = d_{\max} - d_{\min}$ angegeben werden. Für die Wanddicke muss ein Toleranzbereich für die mittlere Wanddicke $s_m = 1/2(s_{\max} + s_{\min})$ und für die Ungleichwandigkeit $\Delta s = s_{\max} - s_{\min}$ festgelegt werden.

Üblicherweise wird die Gleichwandigkeit mittels einer auf die mittlere Wanddicke bezogenen Größe angegeben:

$$U_b = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{s_{\max} + s_{\min}} \cdot 100\% .$$

Dieser Beitrag befasst sich mit der Ungleichwandigkeit von Rohren. Abhängig von der Herstellungsart und der Verwendung der Rohre hat die Ungleichwandigkeit unterschiedliche wirtschaftliche Bedeutung. Werden die Rohre aus gewalztem Bandmaterial hergestellt, so spielt die Ungleichwandigkeit keine Rolle, da die Dickentoleranz der Bänder sehr gering ist. Anders ist es bei der Herstellung von nahtlosen Rohren. Diese Rohre haben ab dem ersten Fertigungsschnitt, bei dem ein Hohlkörper, die Rohrluppe, entsteht eine Ungleichwandigkeit. Bei allen Lochprozessen kann das Innenwerkzeug nicht starr zentrisch zum Außenwerkzeug gehalten werden. Das bedeutet, selbst wenn das Außenwerkzeug und das Innenwerkzeug eine ideale Kreisgeometrie haben, stellt sich

eine Verlagerung der Mittellinien ein. Diese Verlagerung der Mittellinien wird als Exzentrizität e bezeichnet.

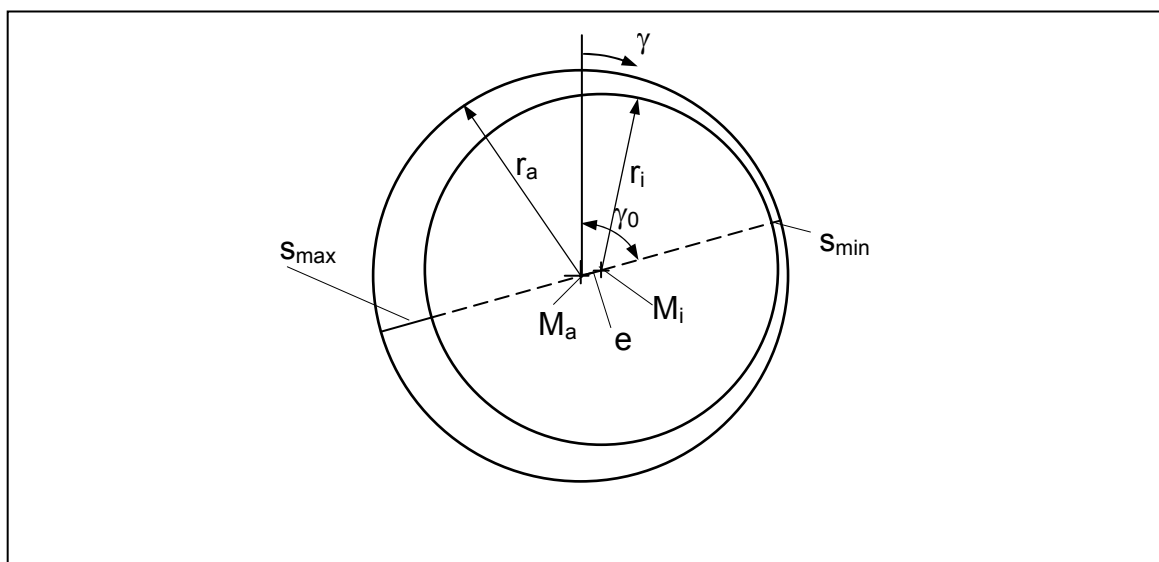
Des weiteren beziehen sich die Ausführungen auf die Rohrfertigungsprozesse, die eine Exzentrizität der Art erzeugen, dass die Mittellinien des äußeren und inneren Zylinders in einer Ebene liegen, d.h. die Exzentrizität hat längs der Rohrachse eine feste Position. Fertigungsverfahren, die Rohre mit solch einer Exzentrizität erzeugen, sind das Lochen in einem Gesenk und das Lochen im Rezipienten beim Strangpressen.

2 Beschreibung der Exzentrizität von Rohren

Der Querschnitt von nahtlosen Rohren, die mittels Werkzeugen gefertigt werden, welche eine kreisrunde formgebende Geometrie besitzen, wird sowohl innen als auch außen durch eine Kreislinie begrenzt. Im Sonderfall des zentrischen Rohres liegen die Mittelpunkte von Innenkreis und Außenkreis aufeinander. Meistens liegt aber der Fall vor, dass die Mittelpunkte einen Abstand zueinander haben, die Kreise sind zueinander exzentrisch angeordnet, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Abbildung 1

Darstellung der Wanddicke eines Rohres in einem Polarkoordinatensystem



Wird durch die Mittelpunkte der Kreise eine Gerade gelegt, so schneidet diese Gerade den Kreisringquerschnitt im Minimum und Maximum der Wanddicke. Der Abstand e der Mittelpunkte auf dieser Geraden stellt die maximale absolute Abweichung von der mittleren Wanddicke s_m dar, daraus folgt:

$$s_{\min} = s_m - e \quad \text{und} \quad s_{\max} = s_m + e.$$

Wird der Wanddickenverlauf mit Hilfe eines Polarkoordinatensystems beschrieben, dessen Ursprung der Mittelpunkt des äußeren Kreises ist und die Winkelkoordinate wird ab einer willkürlichen Umfangsposition gezählt, so ergibt sich folgende funktionelle Beschreibung der Wanddicke:

$$s = s_m - e \cdot \cos(\gamma_0 - \gamma)$$

γ_0 – Position der dünnsten Wand; Phasenwinkel

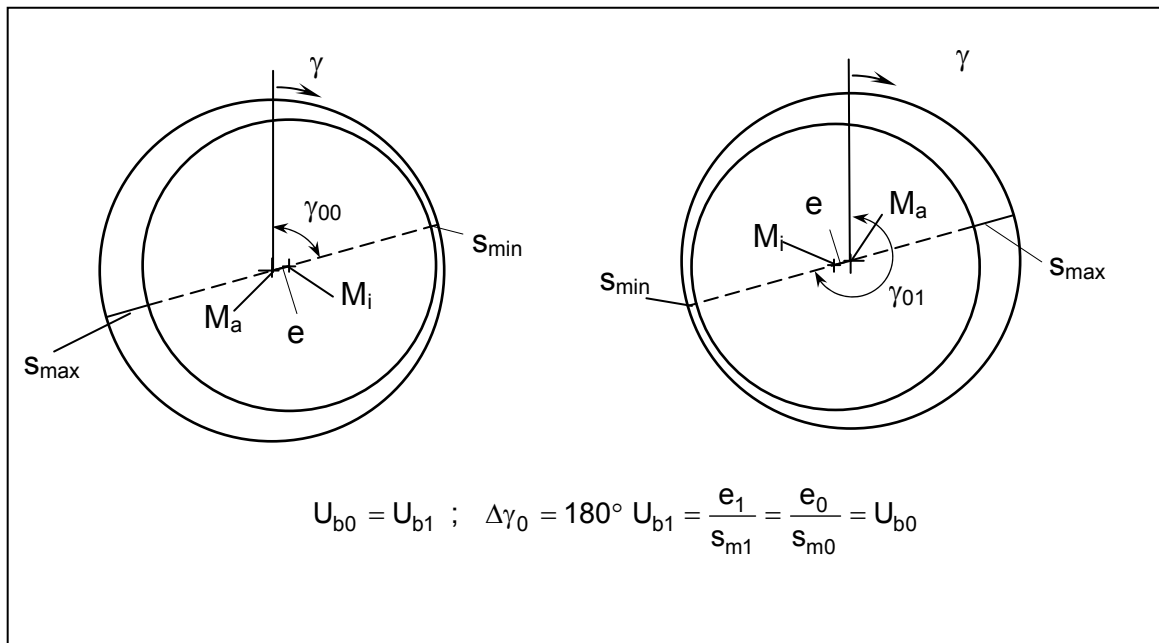
In der industriellen Praxis wird die Exzentrizität von Rohren allgemein nur durch die Ungleichwandigkeit U_b beschrieben:

$$U_b = \frac{1/2 \cdot (s_{\max} - s_{\min})}{s_m} \cdot 100\%$$

$$U_b = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{s_{\max} + s_{\min}} \cdot 100\%$$

Die Angabe der Ungleichwandigkeit U_b zur Beschreibung der Exzentrizität von Rohren ist für die technische Anwendung ausreichend. Bei der Betrachtung der Veränderung der Exzentrizität während eines Fertigungsprozesses ist dies dagegen nicht genügend. Verändert sich z.B. bei einem Fertigungsschnitt die Exzentrizität derart, dass das Wanddickenmaximum mit dem Wanddickenminimum die Position austauschen, die prozentuale Abweichung zur mittleren Wand sich aber nicht ändert, dann würde anhand der Ungleichwandigkeit U_b festgestellt werden, dass die Exzentrizität sich nicht geändert hat. In Abbildung 2 ist dieser Fall dargestellt.

Abbildung 2

Skizze des Sonderfalles

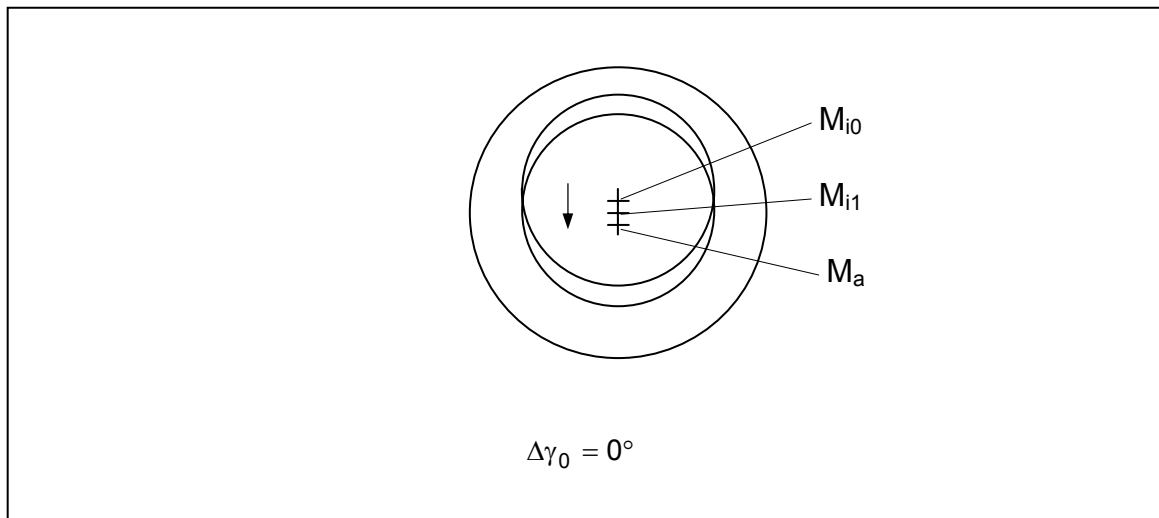
Anhand der funktionellen Beschreibung $s = s_m - e \cdot \cos(\gamma_0 - \gamma)$ ergibt sich zwar auch, dass $U_{b1} = U_{b0}$ ist, aber $\gamma_{01} = \gamma_{00} + 180^\circ$.

An der Veränderung des Phasenwinkels γ_0 ist deutlich zu erkennen, dass sich die Exzentrizität des Rohres geändert hat. Aus diesem Grund wurde eine neue Art der Beschreibung der Veränderung der Exzentrizität definiert.

Für die Anwendung ist eine gezielte Veränderung der Exzentrizität derart von Bedeutung, dass sich bei der Umformung des Rohres der Mittelpunkt des inneren Kreises entlang der geraden Verbindungslinie der Kreismittelpunkte des Ausgangsrohres bewegt. Für den Fall, dass die dünnste Wand des Rohres bei schrägen Einlauf in die Matrize auf der äußeren Seite des Winkels, der vom Rohr gebildet wird, liegt, sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Fall: Durch die Ziehoperation wurde der Mittelpunkt des inneren Kreises in Richtung des Mittelpunktes des äußeren Kreises hin verschoben.

Abbildung 3

Veränderung der Exzentrizität 1. Fall

Dann berechnen sich die Veränderung der Exzentrizität Δe^* und der Ungleichwandigkeit U_b^* zu:

$$\Delta e^* = e_0 - e_1$$

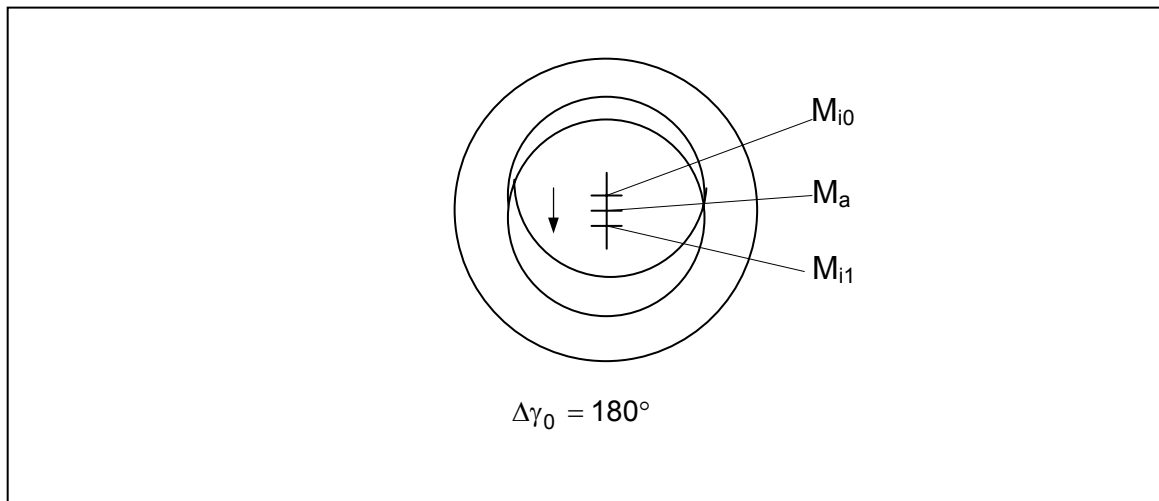
$$U_b^* = \frac{e_0}{s_{m0}} - \frac{e_1}{s_{m1}}$$

und es gilt: $\Delta e^* = \Delta e$; $U_b^* = U_b$.

2. Fall: Durch die Ziehoperation wurde der Mittelpunkt des inneren Kreises über den Mittelpunkt des äußeren Kreises hinweg auf die andere Seite verschoben.

Abbildung 4

Veränderung der Exzentrizität 2. Fall



In diesem Fall ergeben sich für die Veränderung der Exzentrizität $\Delta\gamma^*$ und der Ungleichwandigkeit U_b^* :

$$\Delta e^* = e_0 + e_1$$

$$U_b^* = \frac{e_0}{s_{m0}} + \frac{e_1}{s_{m1}}$$

und es gilt $\Delta e^* \neq \Delta e$; $U_b^* \neq U_b$.

Die Grenze zwischen beiden Fällen ist die Veränderung der Exzentrizität des Rohres der Art, dass nach dem Rohrzug das Rohr zentrisch ist, d.h. $U_{b1} = 0$.

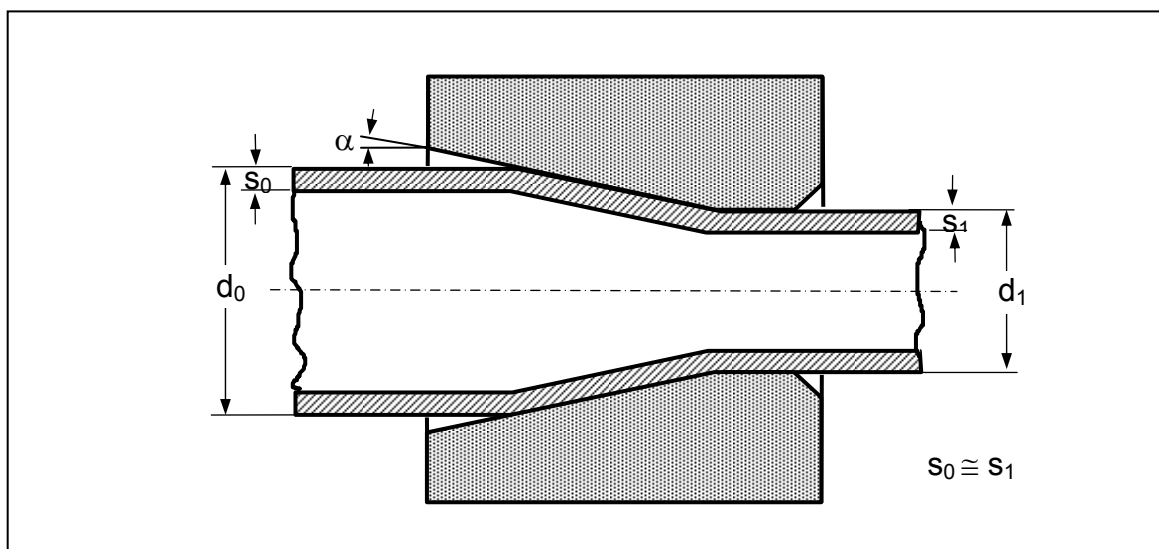
3 Plastomechanische Beschreibung des Gleitziehens von Rohren

Für die in diesem Vortrag beschriebenen Untersuchungen sind folgende drei Verfahren von Bedeutung:

1 Hohlziehen von Rohren (Abbildung 5)

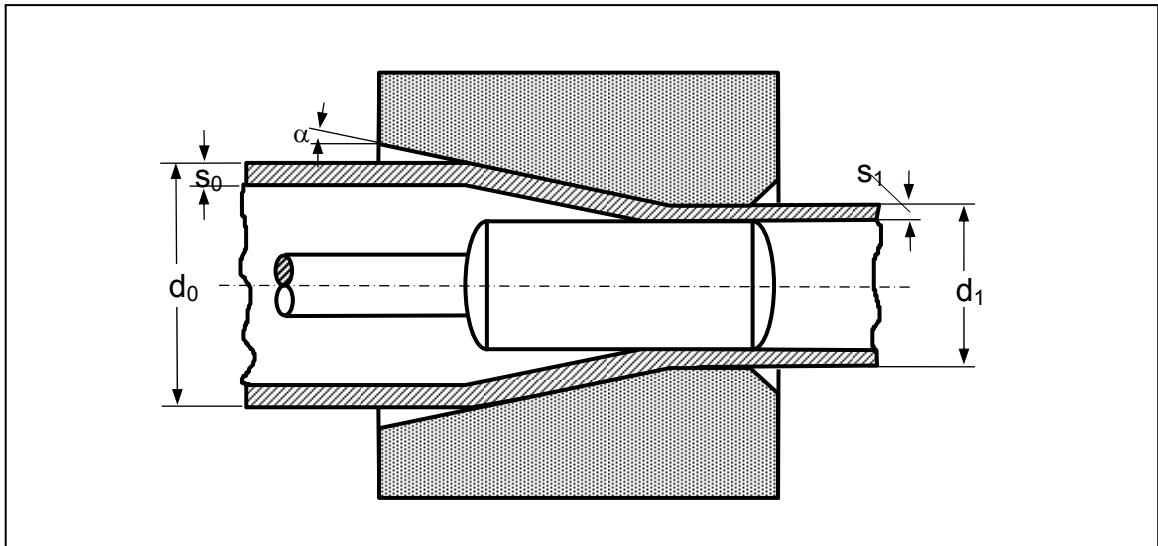
Abbildung 5

Prinzip des Hohlzuges von Rohren



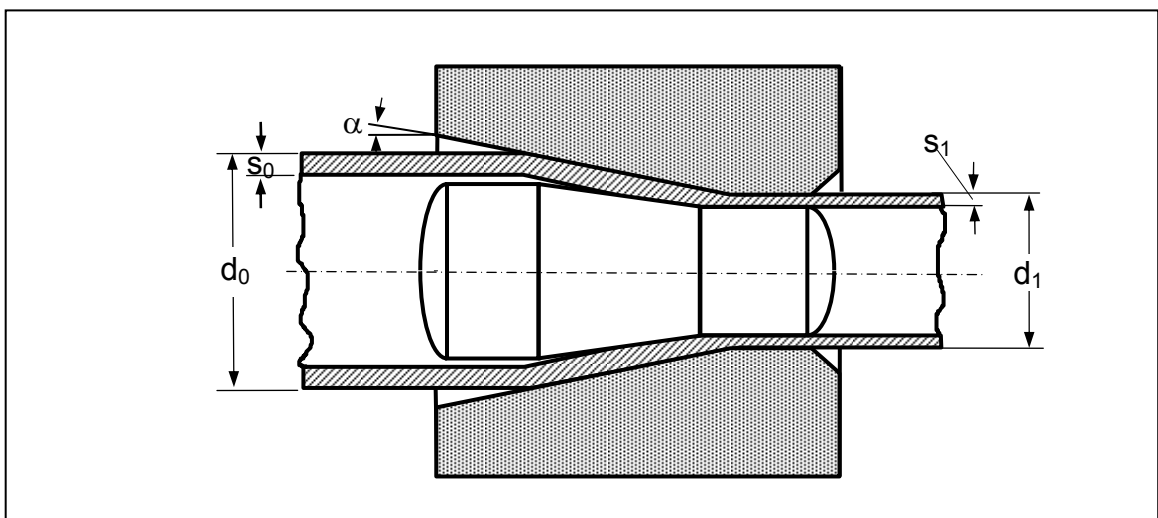
2 Gleitziehen mit festem Dorn (Abbildung 6)

Abbildung 6

Prinzip des Gleitziehens von Rohren mit festem Dorn

3 Gleitziehen mit fliegenden Dorn (Abbildung 7)

Abbildung 7

Prinzip des Gleitziehens von Rohren mit fliegendem Dorn

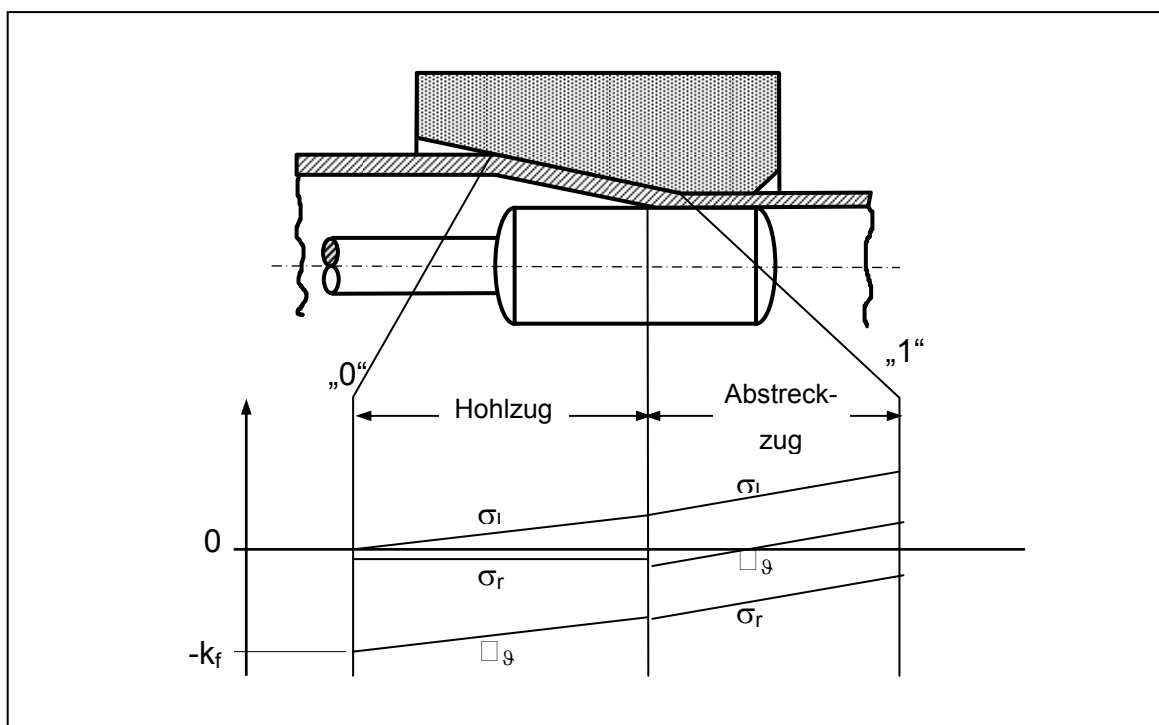
Wie aus den Abbildungen 6 und 7 zu entnehmen ist, kann der Umformvorgang für das Gleitziehen mit festem Dorn und mit fliegenden Dorn in zwei Bereiche unterteilt werden:

- a) den Hohlzuganteil
- b) den Abstreckzuganteil.

Im Hohlzuganteil, welcher ähnlich dem Hohlzug von Rohren ist, fließt der Werkstoff nach dem das Rohr die Ziehmatrize berührt hat, längs des Matrizenkonus und der Rohrdurchmesser wird reduziert. Ab dem Punkt, ab dem das Rohr den Dorn berührt, wird im Wesentlichen die Wanddicke des Rohres reduziert. In den beiden Umformzonen herrscht ein unterschiedlicher Spannungszustand, welcher an Hand der Abbildung 8 erklärt wird.

Abbildung 8

Spannungen beim Gleitziehen von Rohren (prinzipiell)



Vor dem Berühren der Ziehmatrize ist das Material des Rohres starr und spannungsfrei. Ab dem Berührungspunkt im Querschnitt „0“ ist das Material plastisch. Im Querschnitt „0“ ist die Längsspannung σ_l gleich Null und bei dünnwandigen Rohren beträgt die Radialspannung σ_r nur einen geringen Bruchteil der Tangentialspannung σ_g und hat das gleiche Vorzeichen wie diese. Wird die Gültigkeit der Fließbedingung von Tresca / 1 / vorausgesetzt

$$k_f = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

k_f – Fließspannung des Werkstoffes

$\sigma_{\max}$ – größte Hauptnormalspannung

$\sigma_{\min}$ – kleinste Hauptnormalspannung

$\sigma_{\max}$; $\sigma_{\min}$ sind algebraische Größen

und die geringen Reibschubspannungen vernachlässigt, so ergibt sich

$$k_f = \sigma_l - \sigma_g \quad \text{und mit } \sigma_l = 0 \quad \text{folgt } \sigma_g = -k_f.$$

Im Querschnitt „0“ am Beginn der Umformzone wird das plastische Fließen des Werkstoffes nur durch eine tangential Druckspannung hervorgerufen mit dem Wert gleich der Fließspannung des Werkstoffes. Da die Radialspannung σ_r zwischen der Längszugspannung σ_l und der tangentialen Druckspannung σ_g liegt, hat diese entsprechend der Fließbedingung von Tresca keinen Einfluss.

Im weiteren Verlauf in Ziehrichtung gesehen steigt die Längszugspannung an und der Wert der tangentialen Druckspannung nimmt ab. Berührt die Innenwand des Rohres das Innenwerkzeug, den Dorn, dann verändert sich der Spannungszustand unstetig. In diesem Bereich wird im Wesentlichen die Wanddicke reduziert, während die Durchmesseränderung sehr gering ist. Deswegen treten in radialer Richtung große Druckspannungen auf und nach der Fließbedingung von Tresca gilt

$$\sigma_r = \sigma_l - k_f.$$

Die radiale Spannung ist also eine Druckspannung mit einem Wert, der gleich der Fließspannung des Werkstoffes ist, vermindert um die wirkende Längszugspannung. Da in dem Bereich, in dem der Dorn wirkt, ein nahezu exakt ebener Formänderungszustand besteht, ist die tangentielle Spannung gleich dem arithmetischen Mittelwert von Längs- und Radialspannung $\sigma_{\vartheta} = \frac{\sigma_l + \sigma_r}{2}$.

An dieser Stelle soll wieder zur realen Umformung eines ungleichwandigen Rohr zurückgekehrt werden. Reale Umformung bedeutet unter anderem, dass die Reibung berücksichtigt werden muss. Im Abstreckzugbereich, in welcher der Dorn wirkt, herrschen hohe radiale Druckspannungen. Die radialen Druckspannungen rufen Reibschubspannungen zwischen Dorn und Rohr und Matrize und Rohr hervor. Sollte in diesem Teil der Umformzone ein Wanddickenausgleich erfolgen, so müsste über den halben Rohrumfang hinweg Material von der maximalen Rohrwanddicke zur minimalen Rohrwanddicke verschoben werden. Der halbe Rohrumfang ist aber ein Mehrfaches der Länge des Abstreckbereiches in Ziehrichtung, so dass es bei Betrachtung der Fließwiderstände in Längs- und Umfangsrichtung leicht ersichtlich ist, dass kein Materialtransport in Umfangsrichtung stattfindet. Es erfolgt also im Abstreckteil kein Ausgleich der Wanddickenunterschiede, und damit keine Verminderung der Ungleichwandigkeit. Im Hohlzugbereich ist dagegen die Situation eine andere. Bedingt durch die geringe radiale Druckspannung bei dünnwandigen Rohren ist auch die Reibschubspannung gering und es kann eine Verschiebung des Werkstoffes in Umfangsrichtung stattfinden.

Eine Gleichgewichtsbetrachtung der Tangentialkraft im Hohlzugbereich führt zu dem Ergebnis, dass bei konstanter Kraft in einem betrachteten Querschnitt die Rohrpartie mit der minimalen Wanddicke zuerst plastisch wird. Dies führt zu einem Stauchen in tangentialer Richtung und damit zu einer Zunahme der Wanddicke in diesem Bereich, so dass daraus ein Wanddickenausgleich resultiert.

Bei hartem, schon verfestigtem Material, ist dieser Wanddickenausgleich höher, als bei weichen Material, bei welchem die Verfestigung dazu führt, dass die

tangentiale Materialverschiebung nicht so stark ausfällt als bei verfestigtem Material mit nahezu konstanter Fließspannung.

Tanaka / 2,3 / hat den Hohlzug von Kupferrohren experimentell untersucht und kam zu folgenden Ergebnissen:

- Die Wanddicke nimmt in der Ziehdüse zu, auch wenn das Fertigrohr insgesamt eine geringere Wanddicke hat.
- Solange in der Rohrwand an der Stelle der größten und der kleinsten Wanddicke eine Differenz in der Wanddickenänderung existiert, wird die Exzentrizität kontinuierlich reduziert.
- Die Wanddickenänderung wird vom Betrag (Verhältnis) der Tangential- und Axialspannungen bestimmt.
- Die Exzentrizitätsänderung wird nur durch die Tangentialspannung beeinflusst.

Gummert / 4 / hat das Umformverhalten von exzentrischen Rohren untersucht und folgende Ergebnisse gefunden:

- Beim Hohlzug von exzentrischen Rohren treten im Stofffluß Tangentialgeschwindigkeiten auf.
- Die daraus folgende Tangentialformänderung ist im Bereich des Wanddickenminimums am größten. Daraus folgt ein Wanddickenausgleich.
- Mit zunehmenden Ziehholöffnungswinkel 2α nimmt beim Rohrhohlzug der Wanddickenausgleich zu.
- Die Querschnittsabnahme und der Übergangsradius in der Ziehmatrize haben nur geringen Einfluss auf den Wanddickenausgleich.
- Je größer die Exzentrizität des Vorrohres ist, desto größer ist der Wanddickenausgleich bei Rohrhohlzug.
- Wird das in die Matrize einlaufende Rohr nicht geführt, wird ein Ausbiegen des Vorrohres beobachtet, welches große Exzentrizitätsänderungen bewirkt.

Aufbauend auf den Aussagen von Tanaka / 2,3 /, Gummert / 4 / und den eigenen Beobachtungen des Verfassers ergab sich, dass der Einfluss des schrägen Einlaufens des Rohres in die Ziehmatrize auf die Veränderung der Exzentrizität systematisch zu untersuchen ist.

4 Beschreibung der Versuche

Es wurden gezogene Rohre mit geringer Ungleichwandigkeit U_b aus dem Werkstoff CuNi10Fe in weichem und hartem Zustand auf einer hydraulischen Zieh-anlage Abbildung 9 hohl gezogen.

Abbildung 9

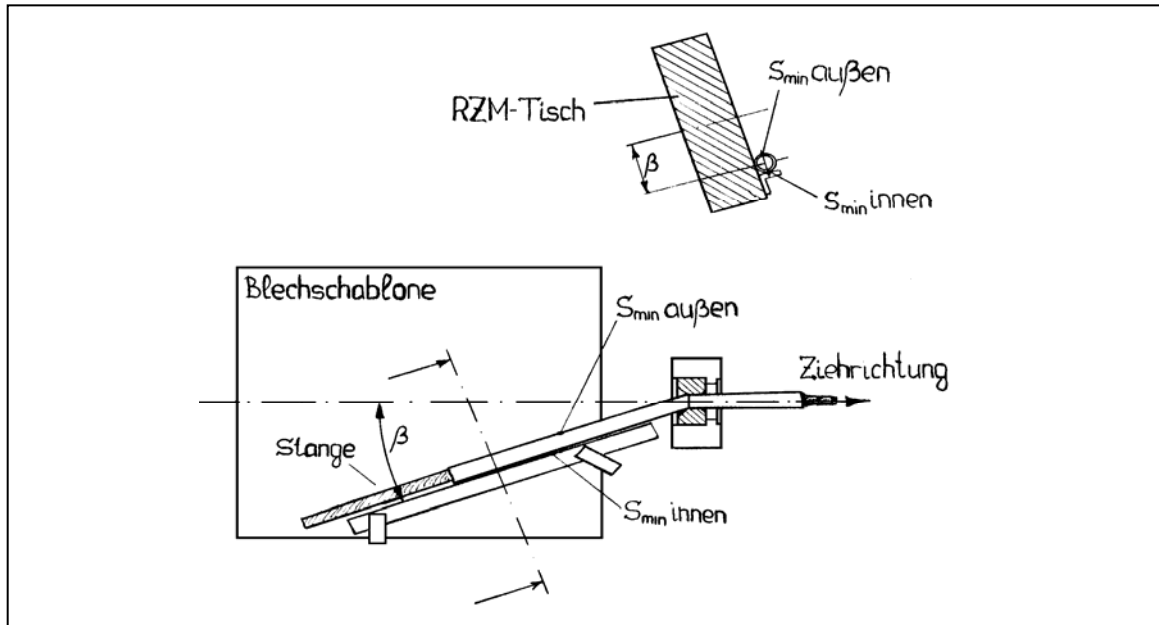
Hydraulische Rohr-Ziehmaschine (RZM)



Hohlziehen bedeutet, dass die Rohre durch eine konische Ziehmatrize ohne Innenwerkzeug gezogen werden. Damit das Rohr unter einen definierten Winkel in das Ziehwerkzeug einlaufen kann, wurde auf dem Maschinentisch vor dem Ziehwerkzeug ein Lineal mit dem gewünschten Winkel zur Ziehrichtung befestigt, und das Rohr während des Ziehvorgangs an diesem Lineal entlang geführt.

Die Lage der Exzentrizität des Rohres vor dem Ziehwerkzeug wurde so gewählt, dass die dünnste Wand entweder innen oder außen lag (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10

Rohrführung zum „Schrägziehen“ der Rohre

Der Wanddickenverlauf in Umfangsrichtung wurde von den Versuchsrohren vor und nach dem Hohlzug gemessen.

Versuchsdaten:

Rohre aus CuNi10Fe1Mn:	d_a	s_m	d/s
weich und hart	27,0	1,80	15
	27,0	1,35	20
	27,0	0,90	30

Ziehwerkzeug: Matrizendurchmesser $d_M = 23,3 \text{ mm}$

Matrizenöffnungswinkel $2\alpha = 30^\circ$

Schmierstoff: Mineralöl

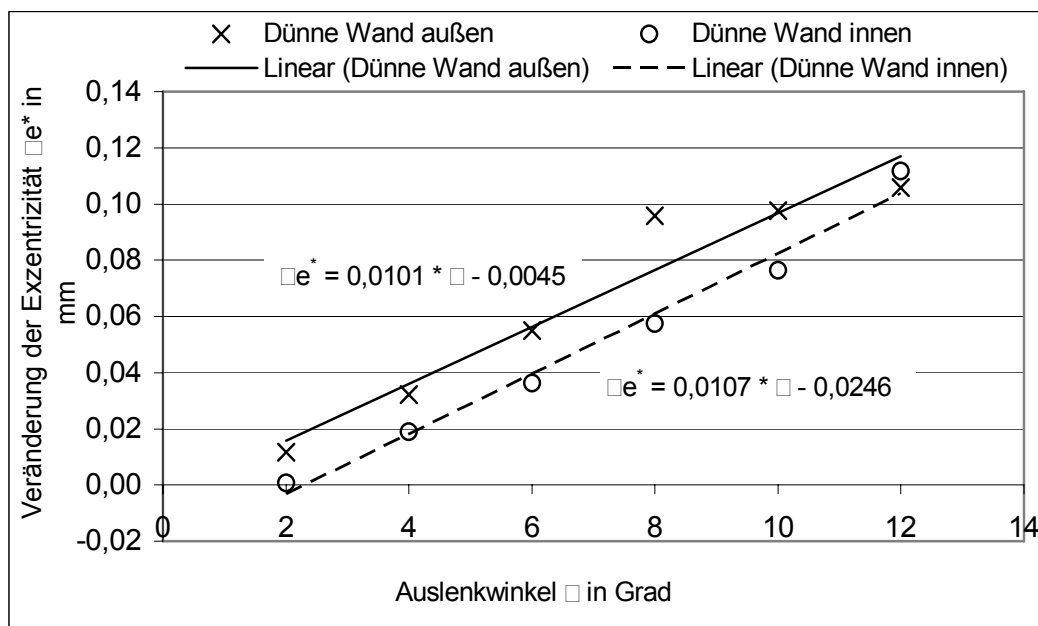
Ziehgeschwindigkeit: 10 m/min.

Versuchsergebnisse:

Da die Ergebnisse bezüglich der Veränderung der Exzentrizität e^* und der Ungleichwandigkeit U_b^* in Abhängigkeit des Auslenkwinkels des in das Ziehwerkzeug einlaufenden Rohres für die unterschiedlichen Verhältnisse von Rohrdurchmesser zu Wanddicke d/s ähnlich sind, werden hier nur die Ergebnisse für das Verhältnis $d/s = 15$ dargestellt. Wie in Abbildung 11 zu sehen, können die gefundenen Messpunkte recht gut mit einer linearen Funktion approximiert werden.

Abbildung 11

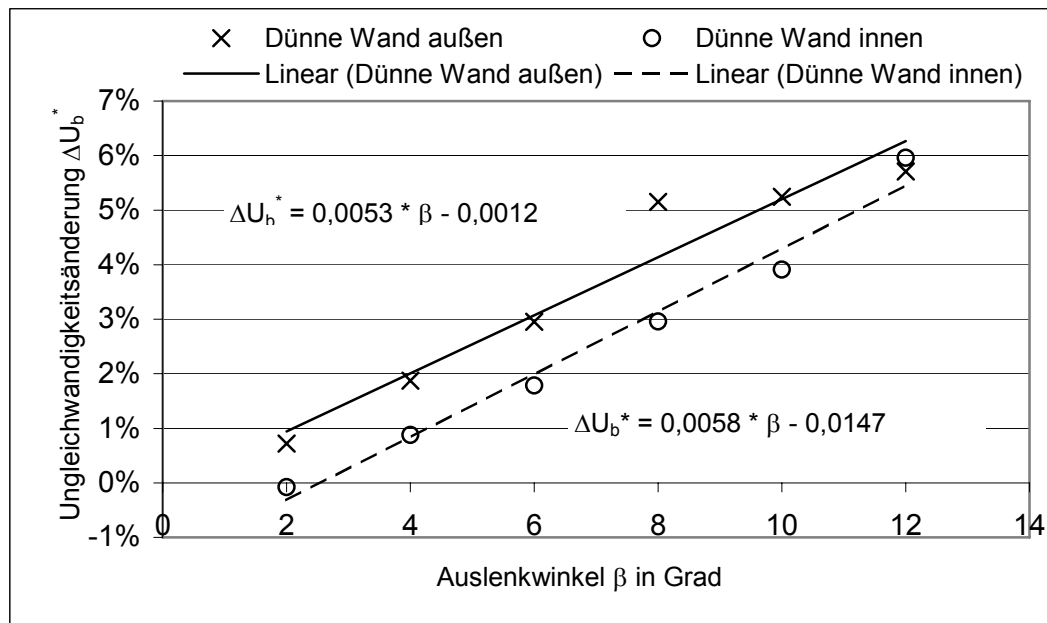
Abhängigkeit der Exzentrizitätsänderung Δe^* vom Auslenkwinkel β
für das harte Rohr mit $d_0/s_0=15$



Bei allen Messreihen ergab sich, dass die Veränderung der Exzentrizität Δe^* bei der Lage der dünnsten Wand „außen“ größer ist, als bei Lage der dünnsten Wand „innen“. Für dieses Verhalten wurde bis jetzt noch keine Erklärung gefunden.

Abbildung 12

**Abhängigkeit der Ungleichwandigkeitsänderung ΔU_b^*
vom Auslenkwinkel β für das harte Rohr mit $d_0/s_0=15$**



Aus den gemessenen Werten für die Exzentrizität e und der jeweiligen Wanddicke wurde die Veränderung der Ungleichwandigkeit U_b^* ermittelt. Wie in Abbildung 12 zu sehen, ergibt sich auch hier, dass mit zunehmendem Auslenkwinkel die Veränderung der Ungleichwandigkeit zunimmt. Dieser Verlauf lässt sich recht gut mit einer linearen Funktion approximieren.

Für das weiche Kupfer-Nickel-Rohr ergibt sich ebenso eine lineare Abhängigkeit für die Veränderungen der Exzentrizität Δe^* und der Ungleichwandigkeit ΔU_b^* vom Auslenkwinkel β wie bei den harten Rohren (Abbildungen 13 und 14). Die Steigung der Geraden ist aber geringer, sie beträgt etwa $2/3$ der Steigung von der bei den harten Rohren.

Abbildung 13

Abhängigkeit der Exzentrizitätsveränderung Δe^* vom Auslenkwinkel β
für das weiche Rohr mit $d_0/s_0=15$

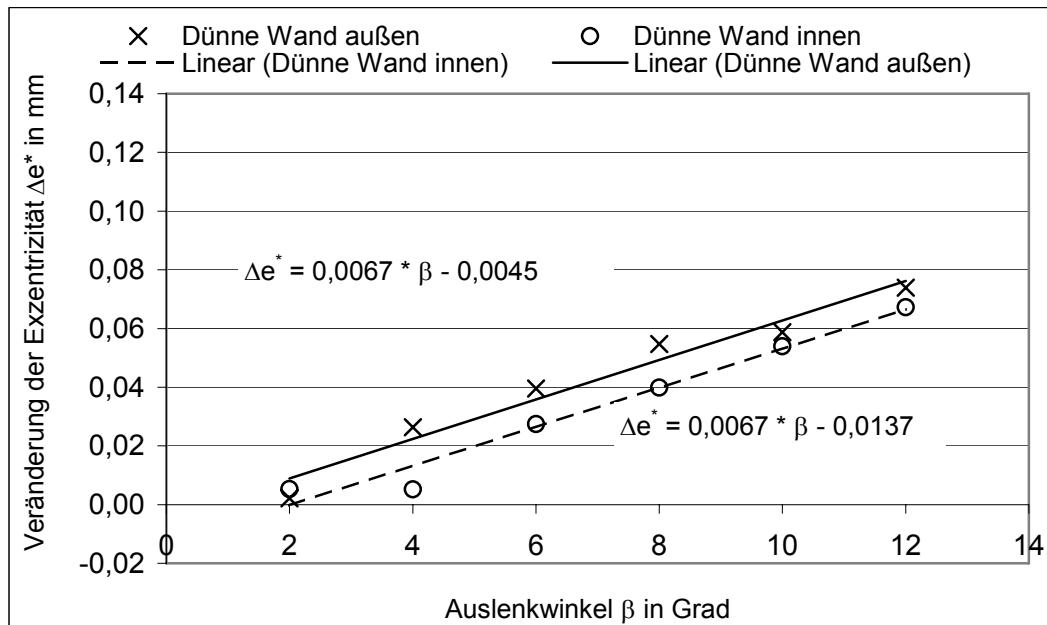
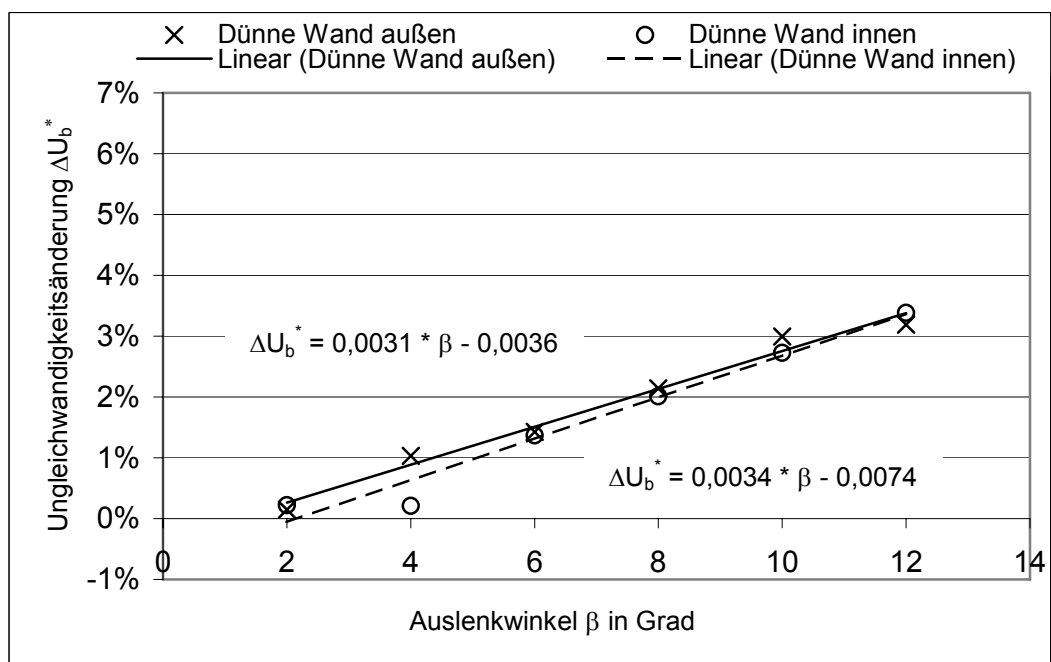


Abbildung 14

Abhängigkeit der Ungleichwandigkeitsänderung ΔU_b^* vom Auslenkwinkel β
für das weiche Rohr mit $d_0/s_0=15$



In den Abbildungen 15 und 16 ist die Veränderung der Ungleichwandigkeit U_b^* für die drei verschiedenen Rohrtypen im weichen und harten Zustand dargestellt. Wie zu sehen ist, liegen die Werte für die Rohre mit $d/s = 15$ und $d/s = 30$ nahe beieinander, während das Rohr mit $d/s = 20$ im Bereich von $\beta > 6^\circ$ deutlich höhere Werte zeigt.

Abbildung 15

Lineare Abhängigkeit der Ungleichwandigkeitsänderung ΔU_b^* vom Auslenkwinkel β für die Rohre im harten Zustand bei $d/s=15; 20; 30$ und der Lage der dünnsten Wand „außen“

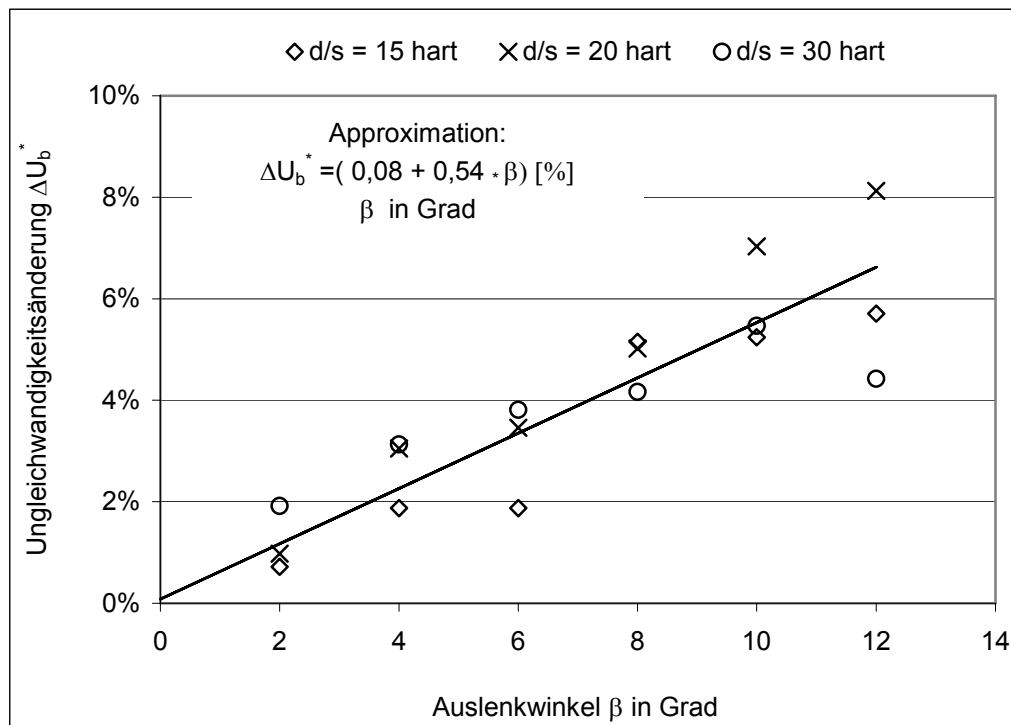
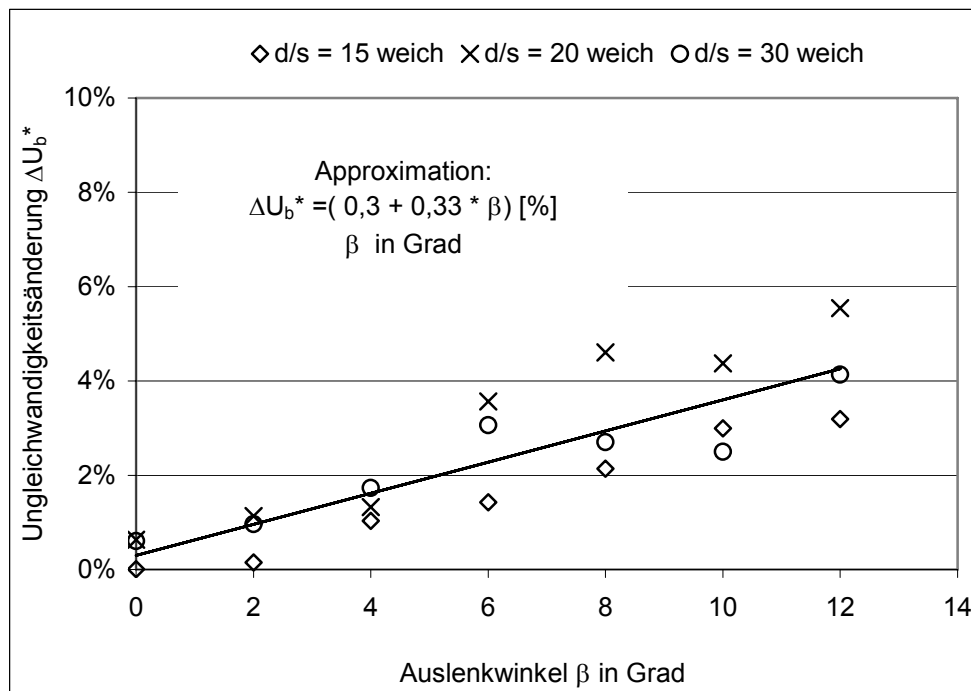


Abbildung 16

Lineare Abhängigkeit der Ungleichwandigkeitsänderung ΔU_b^* vom Auslenkwinkel β für die Rohre im weichen Zustand bei $d/s=15; 20; 30$ und der Lage der dünnsten Wand „außen“



Es wurde mit einer multiplen linearen Regression versucht die Abhängigkeit für die Veränderung der Ungleichwandigkeit vom Auslenkwinkel und dem d/s -Verhältnis aufzuzeigen. Es ergaben sich folgende Funktionen:

Hartes Rohr $U_b^* = (0,55 \cdot \beta + 0,01 \cdot d/s + 0,14) \%$ mit β in Grad

Weiches Rohr $U_b^* = (0,33 \cdot \beta + 0,03 \cdot d/s - 0,3) \%$ mit β in Grad.

Da der Einfluss vom d/s -Verhältnis des Rohres so gering ist, wurde für alle Messwerte eine lineare Regressionsberechnung durchgeführt mit folgendem Ergebnis:

Hartes Rohr $U_b^* = (0,54 \cdot \beta + 0,08) \%$ mit β in Grad

Weiches Rohr $U_b^* = (0,33 \cdot \beta + 0,3) \%$ mit β in Grad.

Auch wenn die Messpunkte relativ stark streuen, dürfte für die praktische Anwendung die Genauigkeit der Beschreibung mit der linearen Regression ausreichend sein.

5 Anwendung der gefundenen Ergebnisse

Für die praktische Anwendung der Ergebnisse wurde noch ein Versuch durchgeführt. In diesem Versuch wurden die Rohre mit größerer Ungleichwandigkeit benutzt. Die Daten dieser Rohre sind:

4-1 mit $\varnothing 27 \times 1,8$ mm; hart und $U_b = 5,5\%$

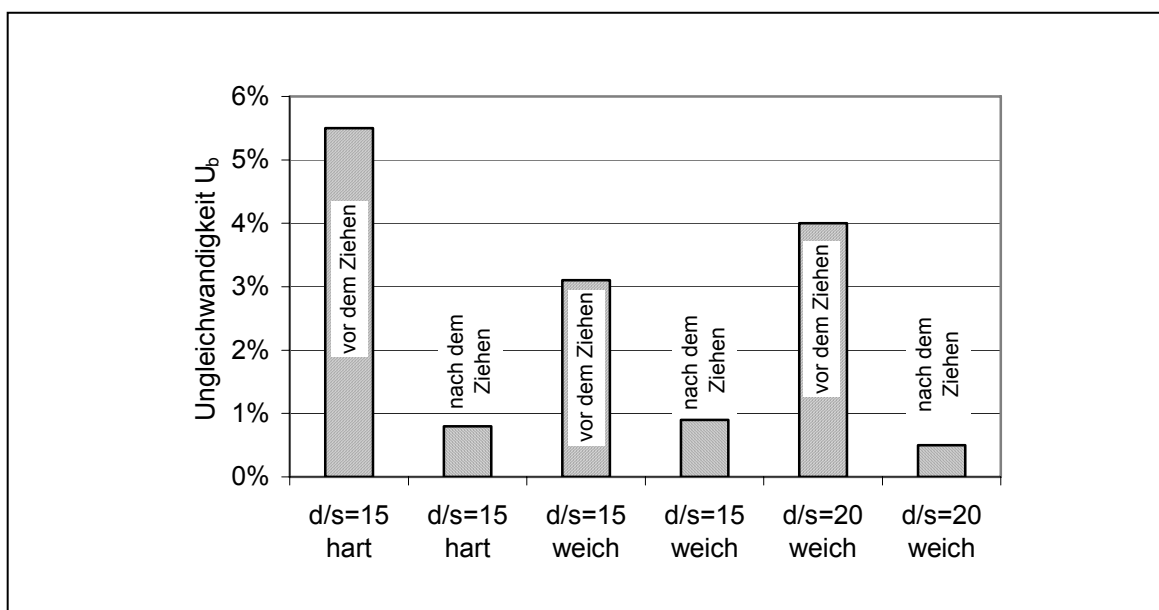
8-1 mit $\varnothing 27 \times 1,8$ mm; weich und $U_b = 3,1\%$

8-1 mit $\varnothing 27 \times 1,35$ mm; weich und $U_b = 4,0\%$.

Mittels der oben angegebenen Abhängigkeit der Ungleichwandigkeitsveränderung vom Auslenkwinkel wurden für die drei Rohre der anzuwendende Auslenkwinkel bestimmt und beim Hohlzug angewendet. Als Ergebnis wurden Rohre mit einer Ungleichwandigkeit von weniger als 1% nach dem Hohlzug erzeugt. Die Werte für die Ungleichwandigkeit vor und nach dem Hohlzug sind in Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 17

Vergleich der Ungleichwandigkeit vor und nach dem Ziehen



Dieses positive Ergebnis lässt erwarten, dass die hier vorgestellte Methode zur Verringerung der Ungleichwandigkeit in die Praxis des Rohrziehens eingeführt wird. Dieses Verfahren ist ebenso geeignet, Rohre mit einer gewünschten Ungleichwandigkeit zu erzeugen, was für bestimmte Produkte, die aus Rohren hergestellt werden, von Bedeutung sein kann.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Lange, K.: Umformtechnik. Band 1 – Grundlagen, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- [2] Tanaka, H., Sato M. und Yoshida K.: Änderung der Exzentrizität und Dicke bei frei gezogenen Rohren. Zeitschrift der japanischen Kupfer und Messing Forschungsgesellschaft, Vol. 25, Seite 29 bis 33, 1986.
- [3] Tanaka, H.: Changes in Wall-Thickness Distribution by Hollow-Sinking Transaction of Japan Institut of Metals, Vol. 17, Seite 828 bis 836, 1976.
- [4] Gummer, H.-J.: Ein Beitrag zur Untersuchung des Umformverhaltens von exzentrischen Rohren beim Kalt-Gleitziehen, Dissertation TU Clausthal, 1991.
- [5] Masljanych, D.: Veränderung der Exzentrizität durch schräges Einlaufen der Rohre beim Gleitziehen. Diplomarbeit MFH-Iserlohn, 2000.

Dieser Beitrag wurde auf dem zusätzlich gehaltenen Technikforum Südwestfalen an der Fachhochschule Iserlohn präsentiert.

Erwin Staudt

**Strategien zum Erfolg –
Sport und Wirtschaft im Vergleich**



Strategien zum Erfolg – Sport und Wirtschaft im Vergleich

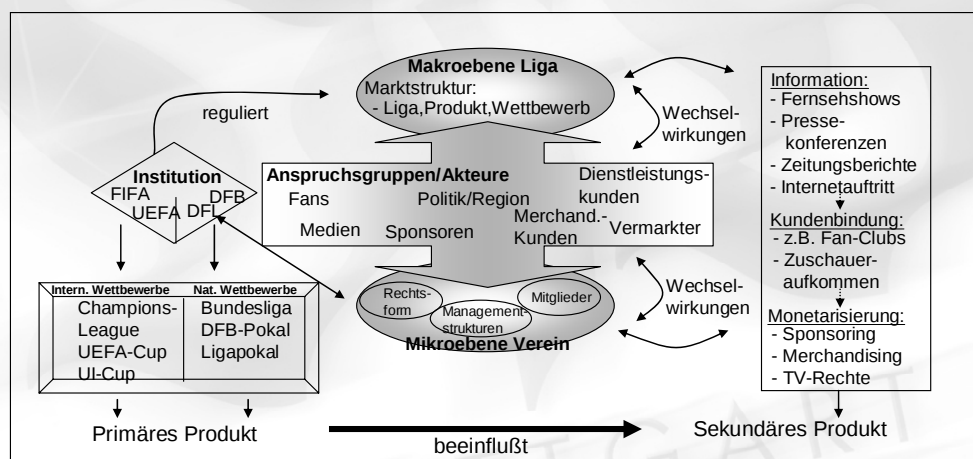
Erwin Staudt

Pforzheim, 14. November 2006

Komplexe Beziehungen im Profifußball



System Profifußball



Besonderheiten der Branche Profifußball aus wissenschaftlicher Perspektive

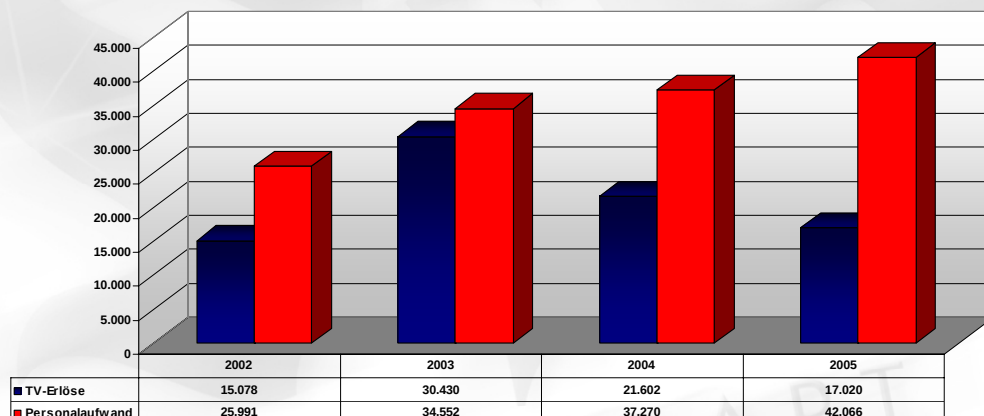


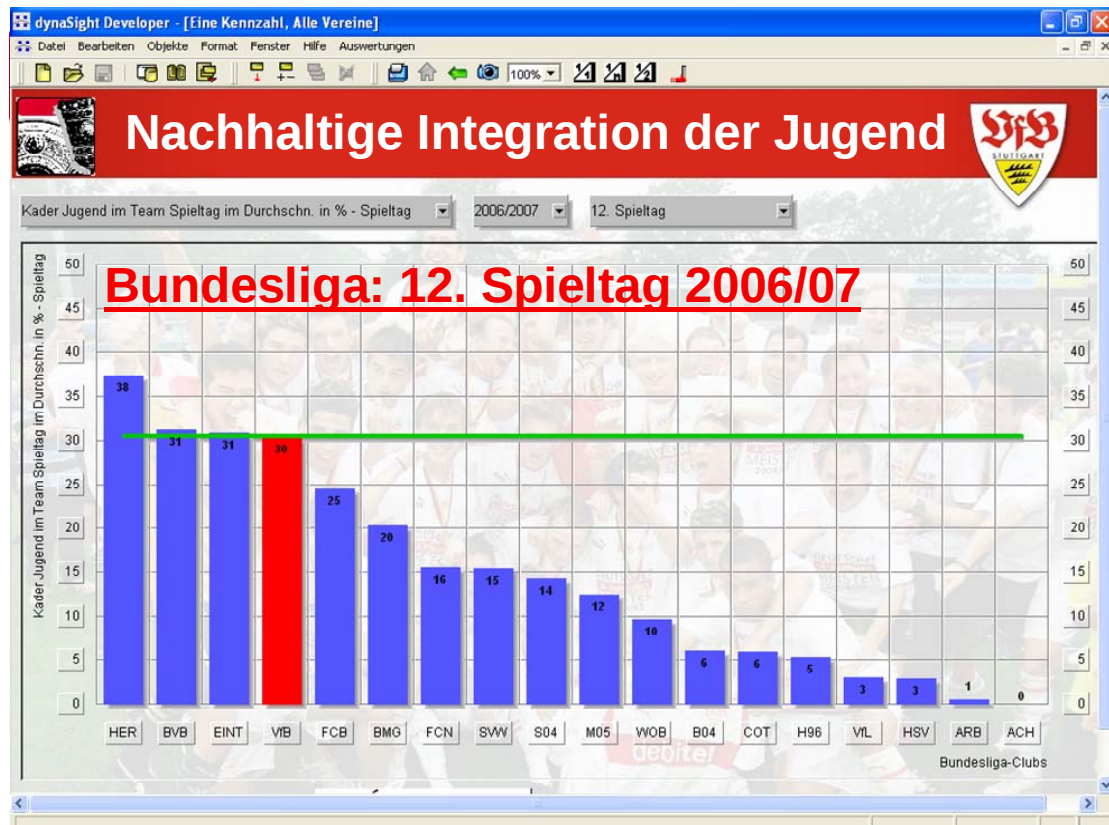
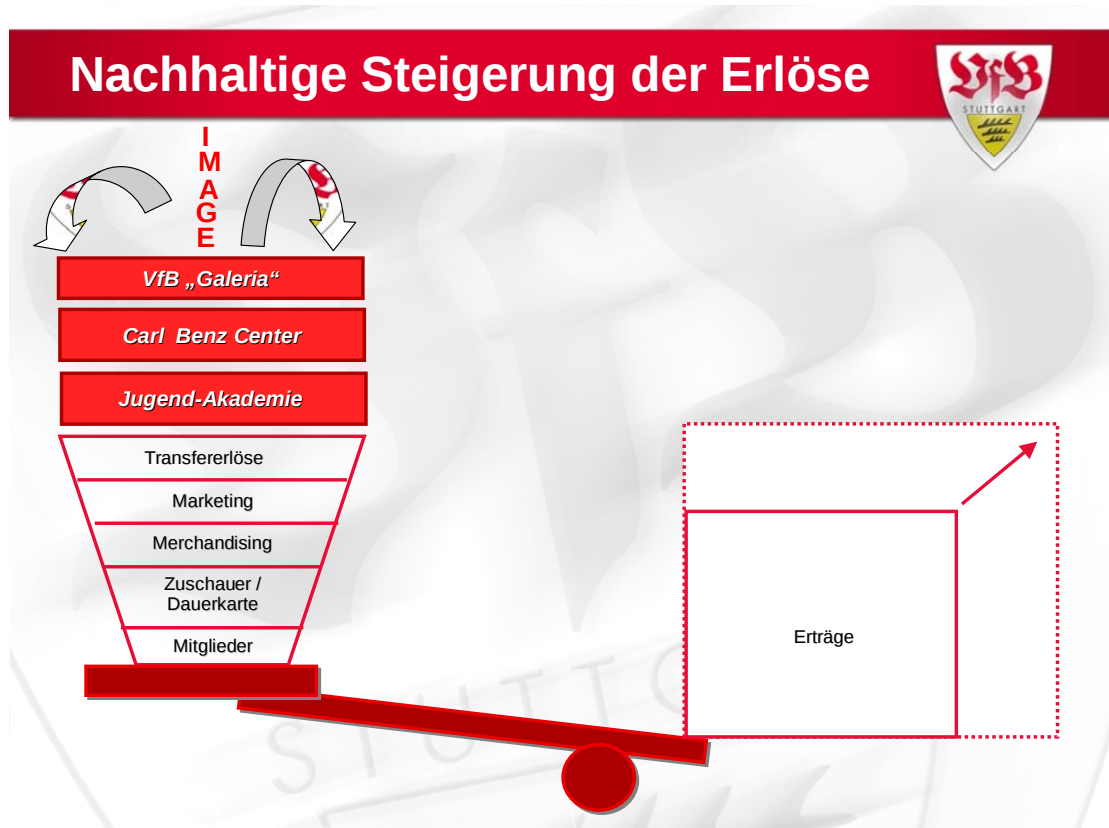
- Gemeinschaftsproduktion (Louis-Schmeling-Paradox)
- Mehrdimensionales Zielsystem
- Produkteigenschaften
 - Unsicherheit Saison-/Spieldausgang
 - Spannungselemente
 - Wettbewerberintensität
- Markteintrittsbarrieren
 - Sportlich
 - Wirtschaftlich

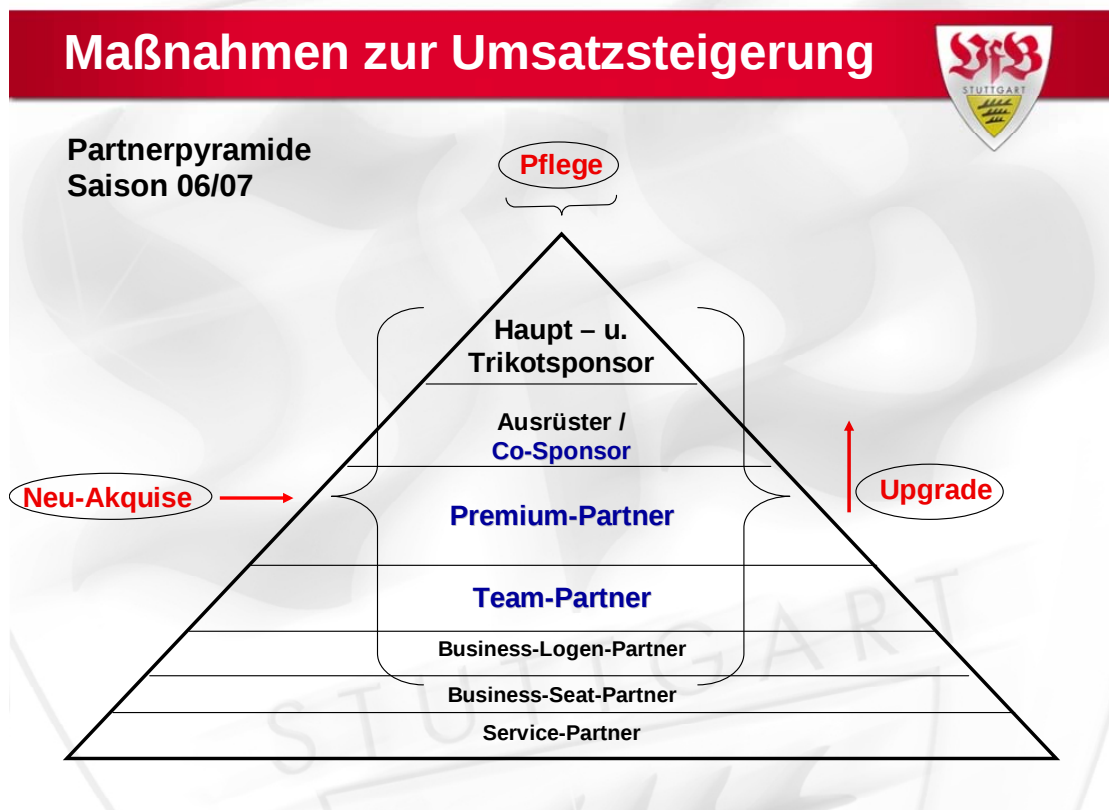
TV-Einnahmen vs. Personalaufwand



in T€







Neue Managementinstrumente



➤ Balanced Scorecard

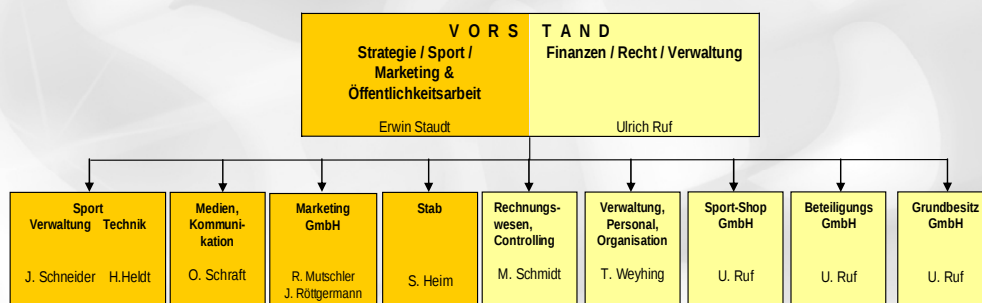


➤ Sports Planner

➤ CRM Microsoft

➤ KnowledgeMiner

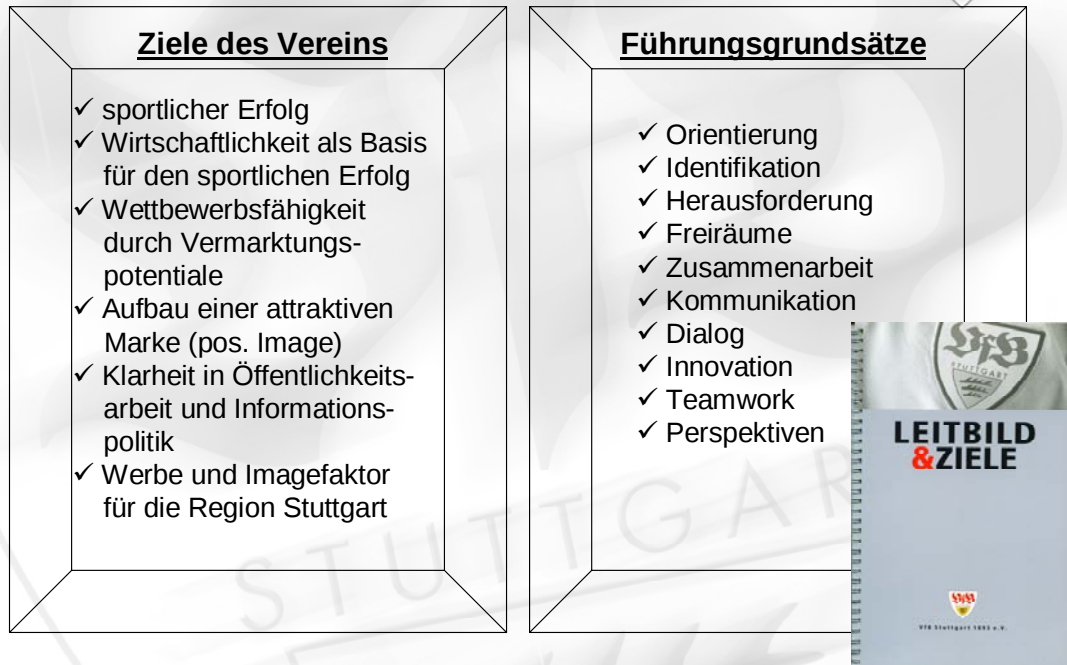
Managementstruktur VfB Stuttgart



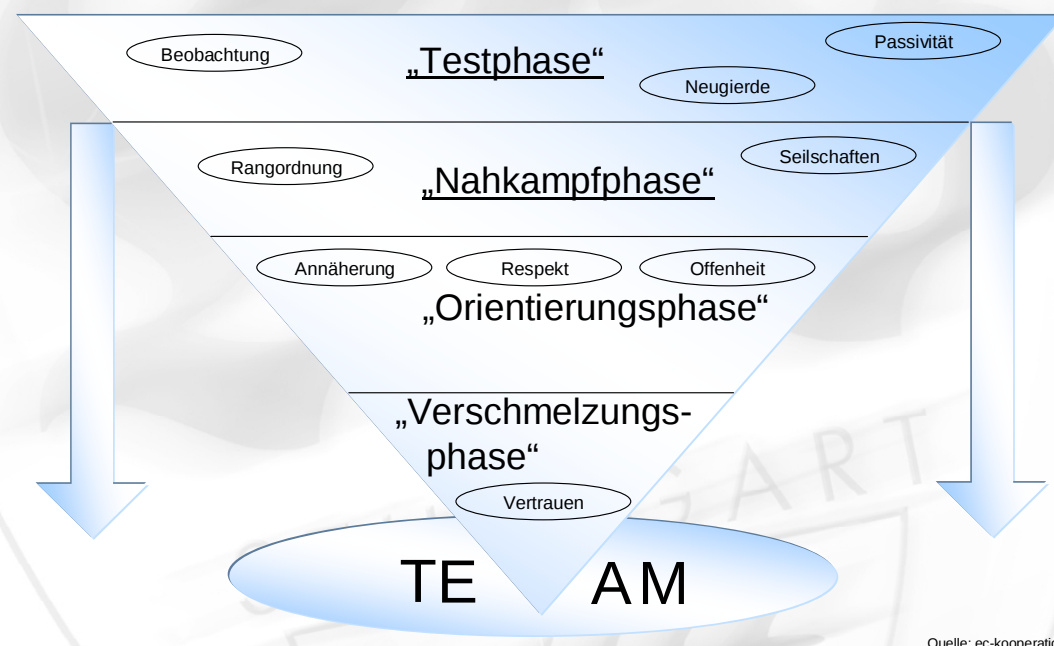
Legende:

→ = disziplinarische Zuordnung / = fachliche Zuordnung

Führung nach innen Leitbild & Ziele des VfB Stuttgart



Phasen eines Teambuildingsprozesses



Quelle: ec-kooperationen

Unterschiedliche Formen der Motivation



Intrinsische vs. Extrinsische Motivation



Maslow-Pyramide



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Anderer, Dipl.-Ing Joachim
Vertrieb, Siemens AG, Karlsruhe

Auracher, cand.-Ing. Andre
Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Baum, Dipl.-Ing. Andreas
Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Beyer, Dipl.-Ing. Kurt
Technischer Leiter, HFB GmbH, Hettstedt

Bidlingmaier, Dr. Thomas
Entwicklung, Allgemeine Gold- und Silberscheideanstalt AG, Pforzheim

Becker, Ing. Stefan
Konstruktion, Sekels GmbH, Oder-Mörlen

Bürkle, Horst
Geschäftsführer, Bühler & Co. GmbH, Pforzheim

Beuchle, Andreas
Anwendungstechnik, Allgemeine Gold- und Silberscheideanstalt AG, Pforzheim

Braun, Heiko
Bühler & Co. GmbH, Pforzheim

Bräuner, cand.-Ing. (FH) Marc
Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Christian, Ursula
Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Cruz, cand.-Ing. (FH) Tom

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Dellaert, Krist

Design Engineer, NV Bekaert Sa, Ingelmunster

Glauner, Harald

Bühler & Co GmbH, Pforzheim

Golda, Dipl.-Ing. Walter

Siemens AG, Karlsruhe

Großmann, Wilfried

Dentaurum, J.P.Winkelsrtoeter KG, Ispringen

Gruber, Dipl.-Ing. Alois

Werksleiter, Gebauer & Griller Metallwerk GmbH, Linz (Österreich)

Hansis, Dr. jur. Werner

Vorstand der Max- und Ernie-Bühler-Stiftung

Hager, Gert

Bürgermeister der Stadt Pforzheim

Heinkel, Harry

Produktionsleiter, Hoffmann Räumtechnik GmbH, Pforzheim

Helbling, Georg

Fertigungsplanung und -steuerung, Hoffmann Räumtechnik GmbH, Pforzheim

Herbst, Gerhard

Maschinenfabrik NIEHOFF GmbH & Co. KG, Schwabach

Huber, Dieter

DENTAURUM J.P. Winkelstroeter KG, Ispringen

Hicke, Roland

Projektleiter, G. Rau, Pforzheim

Horeld

Mall-Heinrich GmbH

Ilg, Carsten

Witzenmann, Pforzheim

Jost, Prof. Dr.-Ing. Norbert

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Keller

Konstruktion, Sekels GmbH, Oder-Mörlen

Klein, Renate

Vorsitzende der Stiftung Max- und Erni-Bühler-Stiftung, Pforzheim

Kretek, David

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Kusch, cand.-Ing. (FH) Madita

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Kusterer, Dipl.-Ing. (FH) Daniel

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Leidig, Dipl.-Ing. Hans-Jürgen

Leiter Werkstoffprüfung, Witzenmann GmbH, 75175 Pforzheim

Liebmann, Gerd

Geschäftsführer, Liebmann Consulting GmbH, Stuttgart

Mainzer, Dipl.-Ing. Heinz-Günter

Konstruktionsleiter, Bühler & Co. GmbH, Pforzheim

Mittag, Dipl.-Ing. (FH) Susanne

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Menge, Dr.-Ing. Rainer

Geschäftsführer NBM - Niehoff-Bühler GmbH, Pforzheim

Morgenthaler, Dipl.-Wirtschaftsingenieur Werner

IHK Nordschwarzwald, Pforzheim

Münzenmaier

Bühler & Co. GmbH, Pforzheim

Palacios, Dipl.-Ing.(FH) Elmer Ramos

Entwicklung Sparte Werkstofftechnik, Innovan GmbH & Co.KG, Birkenfeld

Peisch, Steffen

AMI Doduco, Pforzheim

Prütting, Jürgen

Leoni Kabel GmbH, Pforzheim

Räb, Dipl.-Ing Natalie

Anwendungstechnik, Allgemeine Gold- und Silberscheideanstalt AG, Pforzheim

Reisinger, Josef

Produktion, Gebauer & Griller Metallwerk GmbH, Linz (Österreich)

Richter, Michael

Produktentwicklung Material und Oberfläche, Prym Inovon, Birkenfeld

Roppelt, Frank

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Rubicko, Daniel

Entwicklung, Gebauer & Griler Metallwerk GmbH, Linz

Ruck, Dipl.-Ing. (FH) Claus

Geschäftsführer, Bühler & Co. GmbH, Pforzheim

Scheib, Larissa

Verkauf Inland, Rittal GmbH, Herborn

Scher, Arnaud

G.Rau, Pforzheim

Schieschke, Dr.-Ing. Ralph

Rektor der Hochschule Pforzheim

Schiller, Dipl.-Ing. Michael

Olympus Life and Material Science Europa GmbH, Hamburg

Schreiner, Thorsten

Techniker, Bühler & Co. GmbH, Pforzheim

Seeger, Dipl.-Ing. Bernd

Leiter Füge- und Werkstoffkunde, Witzenmann, Pforzheim

Sekels, Dipl.-Ing. Physiker Dietrich

Geschäftsleitung, Sekels GmbH, Oder-Mörlen

Stadler, Wolfgang

Leoni Kabel GmbH, Stieberstraße 5, 91154 Roth

Staudt, Senator h.c. Dipl.-Volkswirt Erwin

Präsident des VFB Stuttgart

Sterzl, Tobias

Projektleiter, Dentaforum, J.P.Winkelsröter KG, Ispringen

Stetzler, Dipl.-Ing. Friedrich

Geschäftsführer, Südwestbau GmbH, Pforzheim

Steudt, Hans-Jürgen

Regional Sales Manager, Olympus Deutschland GmbH

Wagner, Friedrich

Bühler & Co. GmbH, Pforzheim

Wagner, Dipl.-Ing. Michael / Jürgen Wagner

Erich Fetzer GmbH & Co. KG, Reutlingen

Wahl, Prof. Dr.-Ing. Roland

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Wendl, Prof. Dr.-Ing. Franz

Hochschule Südwestfalen, Iserlohn

Wiedmann, Thomas

Bühler & Co. GmbH, Pforzheim

Zeuner, Horst

Konstruktionsleiter

Zilly, M.Sc. Andreas

Hochschule Pforzheim - Hochschule für Gestaltung, Technik, Wirtschaft

Zörb, Daniel

Kämpferwurz Umformtechnik GmbH, Herborn

Verzeichnis der bisher erschienenen Beiträge

- | | |
|--|---|
| <p>52. Werner Pepels Aug. 1990
Integrierte Kommunikation</p> <p>53. Martin Dettinger-Klemm Aug. 1990
Grenzen der Wissenschaftsfreiheit. Überlegungen zum Thema: Freiheit und Verantwortung des Wissenschaftlers</p> <p>54. Werner Pepels Sept. 1990
Mediaplanung – Über den Einsatz von Werbegeldern in Medien</p> <p>55. Dieter Pflaum Sept. 1990
Werbeausbildung und Werbemöglichkeiten in der DDR</p> <p>56. Rudi Kurz (Hrsg.) Nov. 1990
Ökologische Unternehmensführung – Herausforderung und Chance</p> <p>57. Werner Pepels Jan. 1991
Verkaufsförderung – Versuch einer Systematisierung</p> <p>58. Rupert Huth, Ulrich Wagner (Hrsg.) Aug. 1991
Volks- und betriebswirtschaftliche Abhandlungen. Prof. Dr. Dr. h.c. Tibor Karpati (Universität Osijek in Kroatien) zum siebzigsten Geburtstag. Mit einem Vorwort von R. Huth und Beiträgen von H.-J. Hof, H. Löffler, D. Pflaum, B. Runzheimer und U. Wagner</p> <p>59. Hartmut Eisenmann Okt. 1991
Dokumentation über die Tätigkeit einer Industrie- und Handelskammer – Dargestellt am Beispiel der IHK Nordschwarzwald</p> <p>60. Ursula Hoffmann-Lange Dez. 1991
Eliten und Demokratie: Unvereinbarkeit oder notwendiges Spannungsverhältnis?</p> <p>61. Werner Pepels Dez. 1991
Elemente der Verkaufsgesprächsführung</p> <p>62. Wolfgang Berger Dez. 1991
Qualifikationen und Kompetenzen eines Europa-managers</p> <p>63. Günter Staub Jan. 1992
Der Begriff „Made in Germany“ – Seine Beurteilungskriterien</p> <p>64. Martin W. Knöll, Hieronymus M. Lorenz Mai 1992
Gegenstandsbereich und Instrumente der Organisationsdiagnose im Rahmen von Organisationsentwicklungs (OE)-Maßnahmen</p> <p>65. Werner Lachmann Juni 1992
Ethikversagen – Marktversagen</p> <p>66. Paul Banfield Juni 1993
Observations On The Use Of Science As A Source Of Legitimation In Personnel Management</p> <p>67. Bernd Noll Aug. 1993
Gemeinwohl und Eigennutz. Wirtschaftliches Handeln in Verantwortung für die Zukunft – Anmerkungen zur gleichnamigen Denkschrift der Evangelischen Kirche in Deutschland aus dem Jahre 1991</p> <p>68. Siegfried Kreutzer, Regina Moczadlo Aug. 1993
Die Entdeckung der Wirklichkeit – Integrierte Projektstudien in der Hochschulausbildung</p> | <p>69. Sybil Gräfin Schönfeldt Aug. 1993
Von Menschen und Manieren. Über den Wandel des sozialen Verhaltens in unserer Zeit. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Wintersemester 1992/93</p> <p>70. Hartmut Löffler Dez. 1993
Geld- und währungspolitische Grundsatzüberlegungen für ein Land auf dem Weg zur Marktwirtschaft – Das Beispiel Kroatien</p> <p>71. Hans-Georg Köglmayr, Kurt H. Porkert Nov. 1994
Festlegen und ausführen von Geschäftsprozessen mit Hilfe von SAP-Software</p> <p>72. Alexa Mohl Febr. 1995
NLP-Methode zwischen Zauberei und Wissenschaft. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Wintersemester 1994/95</p> <p>73. Bernd Noll Mai 1995
Marktwirtschaft und Gerechtigkeit: Anmerkungen zu einer langen Debatte</p> <p>74. Rudi Kurz, Rolf-Werner Weber Nov. 1995
Ökobilanz der Hochschule Pforzheim. 2. geänderte Auflage, Jan. 1996</p> <p>75. Hans Lenk Mai 1996
Fairneß in Sport und Wirtschaft. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Wintersemester 1995/96</p> <p>76. Barbara Burkhardt-Reich, Hans-Joachim Hof, Bernd Noll Juni 1996
Herausforderungen an die Sozialstaatlichkeit der Bundesrepublik</p> <p>77. Helmut Wienert März 1997
Perspektiven der Weltstahlindustrie und einige Konsequenzen für den Anlagenbau</p> <p>78. Norbert Jost Mai 1997
Innovative Ingenieur-Werkstoffe</p> <p>79. Rudi Kurz, Christoph Hubig, Ortwin Renn, Hans Diefenbacher Sept. 1997
Ansprüche in der Gegenwart zu Lasten der Lebenschancen zukünftiger Generationen</p> <p>80. Björn Engholm Okt. 1997
Ökonomie und Ästhetik. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Wintersemester 1996/97. 2. geänderte Auflage, Jan. 1998</p> <p>81. Lutz Goertz Sept. 1998
Multimedia quo vadis? – Wirkungen, Chancen, Gefahren. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Fachhochschule Pforzheim, Wintersemester 1996/97</p> <p>82. Eckhard Keßler Nov. 1998
Der Humanismus und die Entstehung der modernen Wissenschaft. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Wintersemester 1996/97</p> <p>83. Heinrich Hornef Febr. 1998
Aufbau Ost – Eine Herausforderung für Politik und Wirtschaft. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Fachhochschule Pforzheim, Wintersemester 1997/98</p> |
|--|---|

Verzeichnis der bisher erschienenen Beiträge

- | | |
|---|--|
| <p>84. Helmut Wienert Juli 1998
50 Jahre Soziale Marktwirtschaft – Auslaufmodell oder Zukunftskonzept? Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Sommersemester 1998</p> <p>85. Bernd Noll Sept. 1998
Die Gesetzliche Rentenversicherung in der Krise</p> <p>86. Hartmut Löffler Jan. 1999
Geldpolitische Konzeptionen - Alternativen für die Europäische Zentralbank und für die Kroatische Nationalbank</p> <p>87. Erich Hoppmann Juni 1999
Globalisierung. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Sommersemester 1999</p> <p>88. Helmut Wienert (Hrsg.) Dez. 1999
Wettbewerbspolitische und strukturpolitische Konsequenzen der Globalisierung. Mit Beiträgen von Hartmut Löffler und Bernd Noll</p> <p>89. Ansgar Häfner u.a. (Hrsg.) Jan. 2000
Konsequenzen der Globalisierung für das internationale Marketing. Mit Beiträgen von Dieter Pflaum und Klaus-Peter Reuthal</p> <p>90. Ulrich Wagner Febr. 2000
Reform des Tarifvertragsrechts und Änderung der Verhaltensweisen der Tarifpartner als Voraussetzungen für eine wirksame Bekämpfung der Arbeitslosigkeit</p> <p>91. Helmut Wienert April 2000
Probleme des sektoralen und regionalen Wandels am Beispiel des Ruhrgebiets</p> <p>92. Barbara Burkhardt-Reich Nov. 2000
Der Blick über den Tellerrand – Zur Konzeption und Durchführung eines „Studium Generale“ an Fachhochschulen</p> <p>93. Helmut Wienert Dez. 2000
Konjunktur in Deutschland - Zur Einschätzung der Lage durch den Sachverständigenrat im Jahresgutachten 2000/2001</p> <p>94. Jürgen Wertheimer Febr. 2001
Geklonte Dummheit: Der infantile Menschenpark. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Wintersemester 2000/01</p> <p>95. Konrad Zerr März 2001
Erscheinungsformen des Online-Research – Klassifikation und kritische Betrachtung</p> <p>96. Daniela Kirchner April 2001
Theorie und praktische Umsetzung eines Risikomanagementsystems nach KontraG am Beispiel einer mittelständischen Versicherung</p> <p>97. Bernd Noll Mai 2001
Die EU-Kommission als Hüterin des Wettbewerbs und Kontrolleur von sektoralen und regionalen Beihilfen</p> <p>Peter Frankenfeld
EU Regionalpolitik und Konsequenzen der Osterweiterung</p> <p>98. Hans Joachim Grupp Juni 2001
Prozessuale Probleme bei Beschlussmängelstreitigkeiten in Personengesellschaften</p> | <p>99. Norbert Jost (Hrsg.) Juli 2001
Technik Forum 2000: Prozessinnovationen bei der Herstellung kaltgewalzter Drähte. Mit Beiträgen von Peter Kern, Wilhelm Bauer, Rolf Ilg; Heiko Dreyer; Johannes Wößner und Rainer Menge</p> <p>100. Urban Bacher, Mikolaj Specht Dez. 2001
Optionen – Grundlagen, Funktionsweisen und deren professioneller Einsatz im Bankgeschäft</p> <p>101. Constanze Oberle Okt. 2001
Chancen, Risiken und Grenzen des M-Commerce</p> <p>102. Ulrich Wagner Jan. 2002
Beschäftigungshemmende Reformstaus und wie man sie auflösen könnte
Jürgen Volkert
Flexibilisierung durch Kombi-Einkommen? Die Perspektive der Neuen Politischen Ökonomie</p> <p>103. Mario Schmidt, René Keil März 2002
Stoffstromnetze und ihre Nutzung für mehr Kostentransparenz sowie die Analyse der Umweltwirkung betrieblicher Stoffströme</p> <p>104. Kurt Porkert Mai 2002
Web-Services – mehr als eine neue Illusion?</p> <p>105. Helmut Wienert Juni 2002
Der internationale Warenhandel im Spiegel von Handelsmatrizen</p> <p>106. Robert Wessolly, Helmut Wienert Aug. 2002
Die argentinische Währungskrise</p> <p>107. Roland Wahl (Hrsg.) Sept. 2002
Technik-Forum 2001: Weiterentwicklungen an Umformwerkzeugen und Walzdrähten. Mit Beiträgen von Roland Wahl, Thomas Dolny u.a., Heiko Pinkawa, Rainer Menge und Helmut Wienert</p> <p>108. Thomas Gulden April 2003
Risikoberichterstattung in den Geschäftsberichten der deutschen Automobilindustrie</p> <p>109. Günter Altner Mai 2003
Lasset uns Menschen machen – Der biotechnische Fortschritt zwischen Manipulation und Therapie. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Sommersemester 2003</p> <p>110. Norbert Jost (Hrsg.) Juni 2003
Technik-Forum 2002: Innovative Verfahren zur Materialoptimierung. Mit Beiträgen von Norbert Jost, Sascha Kunz, Rainer Menge/Ursula Christian und Berthold Leibinger</p> <p>111. Christoph Wüterich Februar 2004
Professionalisierung und Doping im Sport. Vortrag gehalten im Rahmen des Studium Generale der Hochschule Pforzheim, Sommersemester 2003</p> <p>112. Sabine Schmidt Mai 2004
Korruption in Unternehmen – Typologie und Prävention</p> <p>113. Helmut Wienert August 2004
Lohn, Zins, Preise und Beschäftigung – Eine empirische Analyse gesamtwirtschaftlicher Zusammenhänge in Deutschland</p> <p>114. Roland Wahl (Hrsg.) Sept. 2004
Technik-Forum 2003: Materialentwicklung für die Kaltumformtechnik. Mit Beiträgen von Andreas Baum, Ursula Christian, Steffen Nowotny, Norbert Jost, Rainer Menge und Hans-Eberhard Koch</p> |
|---|--|

Verzeichnis der bisher erschienenen Beiträge

115. **Dirk Wenzel (Hrsg.)** Nov. 2004
The European Legislation on the New Media: An
Appropriate Framework for the Information
Economy?
116. **Frank Morelli, Alexander Me-
kyska, Stefan Mühlberger** Dez. 2004
Produkt- und prozessorientiertes Controlling als
Instrument eines erfolgreichen Informationstechno-
logie-Managements
117. **Stephan Thesmann, Martin
Frick, Dominik Konrad** Dez. 2004
E-Learning an der Hochschule Pforzheim
118. **Norbert Jost (Hrsg.)** Juni 2005
Technik-Forum 2004: Innovative Werkstoffaspekte
und Laserbehandlungstechnologien für Werkzeuge
der Umformtechnik
119. **Rainer Gildeggen** Juni 2005
Internationale Produkthaftung
120. **Helmut Wienert** Oktober 2005
Qualifikationsspezifische Einkommensunterschie-
de in Deutschland unter besonderer Berücksichti-
gung von Universitäts- und Fachhochschulabsol-
venten
121. **Andreas Beisswenger, Bernd
Noll** Nov. 2005
Ethik in der Unternehmensberatung – ein vermin-
tes Gelände?
122. **Helmut Wienert** Juli 2006
Wie lohnend ist Lernen? Ertragsraten und Kapital-
endwerte von unterschiedlichen Bildungswegen
123. **Roland Wahl (Hrsg.)** Sept. 2006
Technik-Forum 2005: Umformwerkzeuge - Anfor-
derungen und neue Anwendungen. Mit Beiträgen
von Edmund Böhm, Eckhard Meiners, Andreas
Baum, Ursula Christian und Jörg Menno Harms
124. **Mario Schmidt** Dez. 2006
Der Einsatz von Sankey-Diagrammen im Stoff-
strommanagement
125. **Norbert Jost (Hrsg.)** Juni. 2007
Technik-Forum 2006: Innovative neue Techniken
für Werkzeuge der Kaltverformung. Mit Beiträgen
von Franz Wendl, Horst Bürkle, Rainer Menge,
Michael Schiller, Andreas Baum, Ursula Christian,
Manfred Moik und Erwin Staudt

