

Genaue Untersuchungen von Bauteilbrüchen durch Belastungs-, Gestaltungs- und Werkstoffanalyse zeigen, daß der Dauerbruch nach wie vor die häufigste Bruchart ist. Bei einzelnen Baugruppen, die intervallartig belastet werden, häufen sich besonders nach langen Betriebspausen die Brucherscheinungen. Mit derartigen Betriebsunterbrechungen verbindet sich zu oft der Gedanke an eine „allgemeine Werkstoffalterung“ statt die Einsicht einer ungenügenden Wartung und Pflege an Anlagen und Aggregaten in den Abstellperioden. Es sind nämlich die Stillstandskorrosionsprozesse besonders bei oberflächengeschädigten oder ungeschützten Bauteilen, die das auslösende Moment für den Dauerbruch sein können. Landtechnische Arbeitsmittel und Geräte sind hauptsächlich während der betriebsbedingten Pausen und Abstellperioden den Umweltbelastungen und sehr aggressiven Einsatzmedien ausgesetzt.

Mit der nachfolgend beschriebenen Versuchsmethode wird das Ziel verfolgt, den unterschiedlich starken Einfluß der Umweltbelastungen zum einen als Vorkorrosionswirkung und zum anderen in Verbindung mit einem bereits mechanisch geschädigten Werkstoffzustand genauer zu bestimmen, um Schlußfolgerungen für Wartung und Pflege von Aggregaten und Anlagen – besonders der Düngewirtschaft – weiter zu präzisieren.

Lebensdaueruntersuchungen von Bauteilen unter Berücksichtigung einsatzbedingter Medienbeanspruchung

Dr.-Ing. P. Neumann, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung

1. Das umgebende Medium als Haupteinflussfaktor auf die Bauteillebensdauer

In der Ermüdungsforschung ist hinreichend nachgewiesen, daß bereits die umgebende atmosphärische Luft einen sehr schädigenden Einfluß ausübt (physikalisch-chemische Schädigungskomponente). Die eigenen Grundlagenuntersuchungen bestätigen das ganz deutlich mit dem ausgeprägten Unterschied der Zeitfestigkeitslinien, die im Prüfmedium Argon ermittelt wurden (Bild 1) [1]. Fehlt die physikalisch-chemische Schädigungskomponente, steigt die Lebensdauer im Gebiet der begrenzten Festigkeit etwa um das Doppelte bei scharf gekerbten Proben.

Die Parallelität der gegenübergestellten Zeitfestigkeitslinien bestätigt, daß gasförmige Medien hauptsächlich die Phase der Rißausbreitung beeinflussen, die im vorgenannten Kerbfall rd. 90% der Lebensdauer ausmacht. Die regelmäßige Grobstreifigkeit des Bruchgefüges, die bei Luftumgebung beobachtet wird, verschwindet fast vollständig, und die plastische Zone an der Rißspitze vergrößert sich bei inerter Atmosphäre.

Von prinzipieller Bedeutung für die Korrosions-, Werkstoff- und Instandhaltungsforschung sind die über längere Zeit durchgeführten Versuche zur Masseverlustbestimmung bei temporär exponierten Proben. Die Beobachtungszeiträume zur Ermittlung der

„Grenzkurve“ des Korrosionsverlaufs sind bereits bis zu 20 Jahren ausgedehnt [2 bis 8]. In letzter Zeit bemüht man sich auch immer stärker, die konkreten Praxisbedingungen, z. B. die Güllebeanspruchung oder die Korrosionsbeeinflussung, die durch Desinfektionslösungen und Reinigungsmittel bei Standausrüstungen entsteht [9], in die Untersuchungspraxis mit einzubeziehen. Selbst wenn sich die Masseverluste territorial sehr unterscheiden, so haben diese unter natürlichen Bedingungen durchgeführten Versuche repräsentativen Charakter und bieten für die Beschichtungstechnik Bemessungsgrößen an, weil neben den wesentlichen Elementen Feuchtigkeit, Sauerstoff und Emissionsstoffe alle Einflußgrößen am Korrosionsvorgang teilnehmen, wie Staub, Ruß, Wind und Wechseltemperatur.

Von höherem Stellenwert sind solche Versuchsserien, bei denen die exponierten Proben nach der Bewitterungsphase zu Bruch gefahren werden und der Tragfähigkeitsverlust infolge von Vorkorrosion definitiv ermittelbar ist.

Der qualitative Unterschied zwischen Masse- und Tragfähigkeitsverlust wird mit den Bildern 2 und 3 veranschaulicht. Territoriale Un-

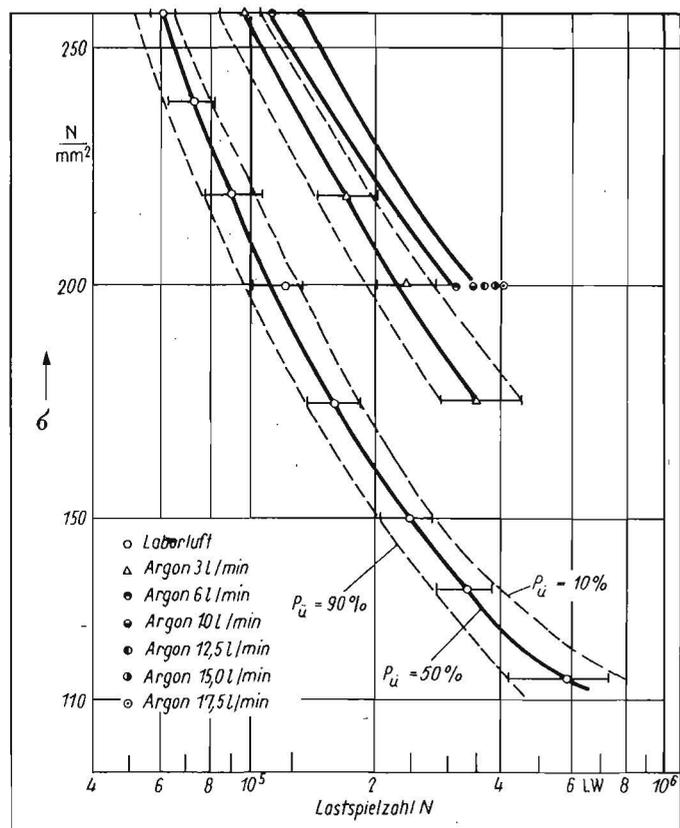
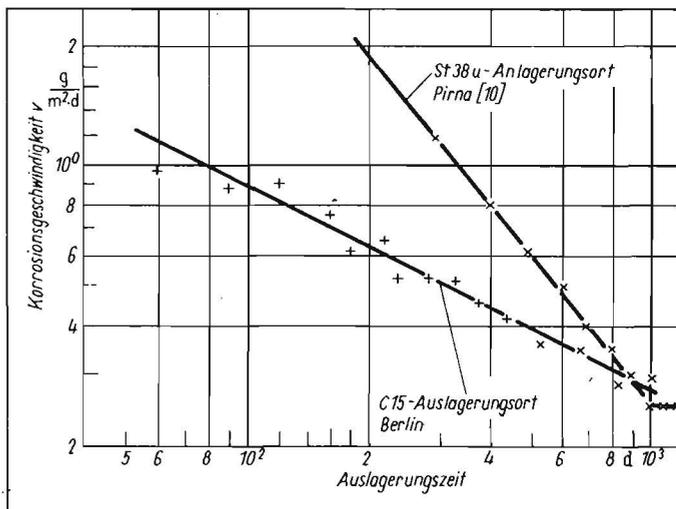


Bild 1 Verlauf der Zeitfestigkeit bei Umlaufbiegebeanspruchung und unterschiedlichem Umgebungseinfluß (Probenform mit Kerbradius R 0,1)

Bild 2 Doppellogarithmische Darstellung der Korrosionsgeschwindigkeit



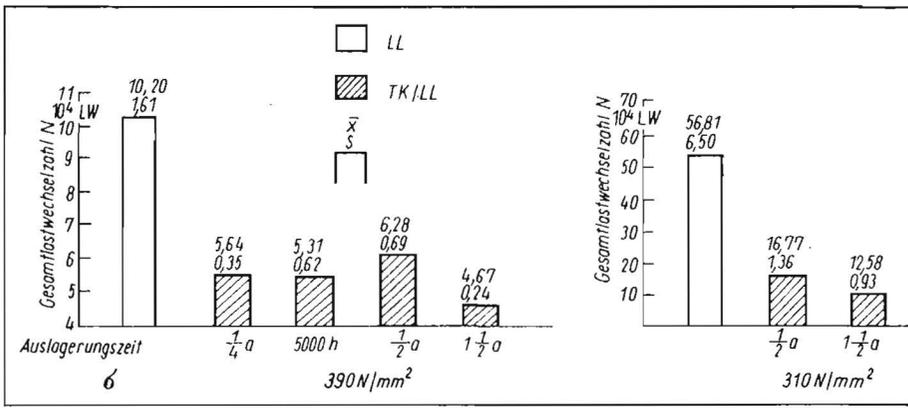


Bild 3. Gesamtlafzeit der Umlaufbiegeproben auf unterschiedlichen Spannungshorizonten; TK Freiluftbewitterung, LL Laborluftbedingungen

terschiede und ein überhöhter Cu-Gehalt beim Stahl C 15 bescheinigen dem Einsatzstahl eine größere Korrosionsbeständigkeit gegenüber dem Baustahl. Das dynamische Tragverhalten nach einer Vorkorrosionsbeanspruchung hingegen ist bei beiden Stahlsorten praktisch gleich schlecht. Die Aussage über eine relativ gute Abschätzung des Zeit- bzw. Dauerfestigkeitsabfalls erhält man jedoch bei der Methode der Tragfähigkeitsverlustmessung bereits nach etwa 10% der Expositionszeit, die für eine Masseverlustbestimmung notwendig wird (Bild 3).

Die mit der Oberflächenzerstörung infolge elektrochemischer Korrosion entstandenen Grübchen verursachen durch die Kerbwirkung hohe Spannungsspitzen, die einen stärker schädigenden Einfluß hervorrufen als die mit dem Masseverlust verbundene Querschnittsschwächung. Deshalb kann man dies auch nur bei glatten, d. h. ungekerbten Bauteilen beobachten; gekerbte Bauteile hingegen reagieren gegenüber Korrosion bekannterweise wesentlich unempfindlicher.

2. Versuchsdurchführung

2.1. Probenwerkstoff und -form

Für die Untersuchungen wurde ein Qualitätsstahl C 15 gewählt, der die Verallgemeinerung der Versuchsergebnisse auf die in der Landtechnik am häufigsten eingesetzten Bauteile gestattet. Mit $R_m = 478 \text{ N/mm}^2$ und $R_e = 334 \text{ N/mm}^2$ lagen die mechanischen

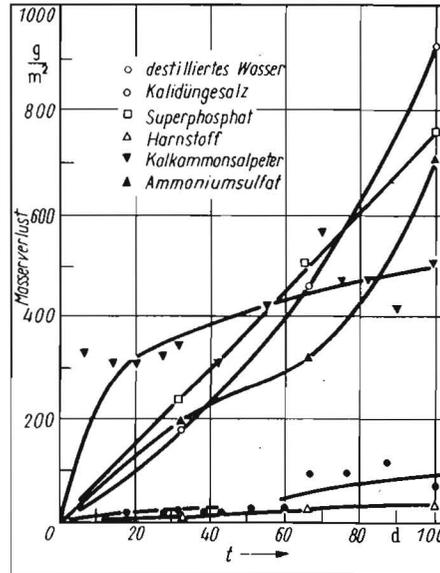


Bild 5. Masseverluste bei C 15 durch verschiedene Düngertlösungen (Wechseltauchversuch)

Gütwerte erstaunlich hoch. Im Bild 4 sind die verwendeten Probenformen mit mechanisch hergestelltem Kerbgrund dargestellt. Die mit der Bezeichnung „glatt“ konzipierte Probenform diente auch als Grundkörper für eine neuartige technologische Kerbform. Sie wird mit einem in [11] näher erläuterten Ver-

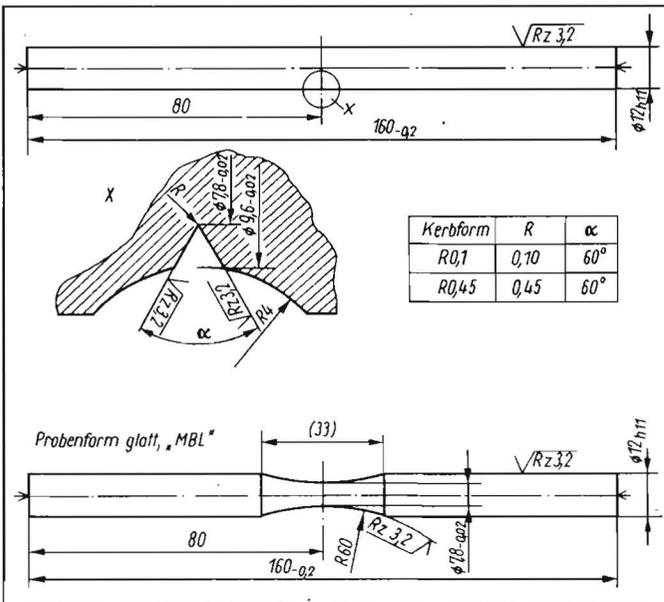
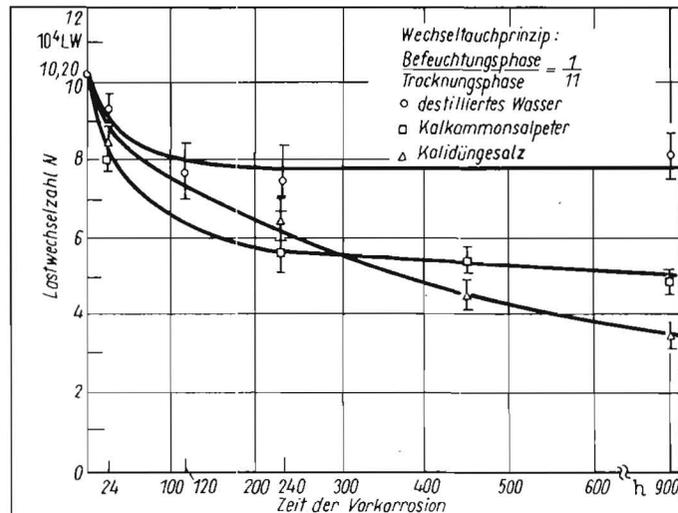


Bild 4. Probenformen

Bild 6. Einfluß der Vorkorrosion auf die Lastwechselzahl im Zeitfestigkeitsgebiet; Kerbform glatt, Prüfhorizont $\sigma = 390 \text{ N/mm}^2$



fahren so hergestellt, daß um den kleinen Querschnitt ein magnetisch bewegter Lichtbogen zur Rotation gebracht wird und die Probenoberfläche anschmilzt. Die mit „MBL“ bezeichnete Probenform ermöglicht bei der unverändert gebliebenen Formzahl einen direkten Vergleich zur glatten Probe und läßt wegen der entstandenen schweißanalogen Strukturveränderungen eine Erweiterung der Korrosionsaussage auf geschweißte Bauteile zu.

2.2. Versuchseinrichtungen

Zur Flüssigkeitsbeaufschlagung der Proben während der Pausen diente eine Befeuchtungseinrichtung, die den Anforderungen an eine definierte Befeuchtung von Rundproben analog dem Wechseltauchversuch nach Standard TGL 18754/02 gerecht wird [12]. Diese Versuchsanlage war mit einer Wechseltaucheinrichtung so elektrisch parallel geschaltet, daß bei einem gewählten Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklus von 5:55 nach o. g. Standard gleichzeitig die zur Masseverlustmessung bestimmten Flachproben eingetaucht und die Rundproben für die Tragfähigkeitsverlustermittlung befeuchtet wurden und anschließend beide Probenformen den Trocknungszyklus durchliefen.

3. Versuchsergebnisse

3.1. Versuchsergebnisse des „durchlaufenden Versuchs“

Die vorkorrodierende Wirkung infolge des Umgebungseinflusses (Berliner Stadtatmosphäre) verursacht bei der ungekerbten Probe nach 6 bzw. 18 Monaten Auslagerungszeit einen σ_D -Abfall von 35,8 bzw. 36,5%, bei der geschweißten Probe dagegen nur von 26,7 bzw. 27,5%. Es stimmt sehr nachdenklich, daß die Erhöhung der Kerbwirkung durch Mehrschichtbildung in den Randbereichen infolge thermischer Spannungen nach kurzzeitigem Wärmeeintrag und die mit dem Schweißprozeß verbundene Rauheitszunahme um 26% einen geringeren Dauerfestigkeitsabfall zur Folge hat, als ein ungekerbtes Bauteil durch eine Freiluftbewitterung erfährt. Die spezifische Aggressivität von Flüssigdüngertlösungen auf Baustahl ist im Bild 5 dargestellt. Gegenüber Wasser verursacht z. B. eine Kalkammonsalpeterlösung schon bei ei-

ner sehr kurzen Zykluszeit von 240 h einen 39fach größeren Masseverlust. Die physikalisch-chemische Schädigung wird am deutlichsten, wenn man vor der dynamischen Bauteilprüfung die flüssige Kalkammonsalpeterlösung mit gleicher Zykluszeit als Vorkorrosion auf die Prüfkörper einwirken läßt (Bild 6). Um 46,3% sinkt die ertragbare Zeitfestigkeit (bei Wasser um 25,7%). Eine 24stündige Zykluszeit verursacht bereits eine Reduzierung des dynamischen Tragverhaltens von 21,6%. Der Gesetzgeber hat den enormen Korrosionseinfluß erkannt und ihn im Standard TGL 19340/03 durch die Einführung eines Korrekturfaktors K_{Korr} berücksichtigt. Der Beschichtungstechnik ist aber trotzdem nach wie vor eine erhöhte Bedeutung beizumessen, sowohl beim Erstanstrich wie auch in der Instandhaltung. Es ist ein Tatbestand, daß der Korrosionseinfluß mit seiner Größe den Einfluß der Werkstoffanisotropie, den Querschnitts- und Oberflächeneinfluß weit überdeckt und besonders oberflächengeschädigte oder schlecht konservierte Bauteile somit frühzeitig zur Anrißbildung und zum Bruch kommen können.

3.2. Versuchsergebnisse des durch Betriebspausen unterbrochenen Versuchs

Die ein- oder mehrmaligen Betriebsunterbrechungen wurden zwischen die Vorschwing- und Restschädigungsphase gelegt. Diese Phasen fanden unter normalen Umgebungsbedingungen statt. Das Pausenmedium wurde mit praktischen Einsatzmedien, wie Freiluftbewitterung, Wasser und erstmals Flüssigdünger, variiert [13]. Für den Bauteilprüfer ist die Kombination mit dem Pausenmedium „Laborluft“ von Interesse: eine nur 24stündige Betriebsunterbrechung zwischen zwei Arbeitsperioden führt selbst bei Bauteilen mit bereits vorhandenen Anrissen zu einer durchschnittlichen Laufzeiterhöhung von rd. 12%. Bei einer Pausenzeitverlängerung bis zu 1000 h tritt dann keine weitere Veränderung der Gesamtlaufzeit mehr ein. Mit umfangreichen Dämpfungs- und Eigenfrequenzänderungsmessungen [13, 14] konnte nachgewiesen werden, daß es sich um eine frühzeitig einsetzende Eigenschaftsveränderung des Werkstoffs ähnlich einer Verformungsalterung handelt, deren Intensität sehr stark vom Vorschädigungsgrad abhängt.

Für den Betreiber von Anlagen und Aggregaten ist die Kenntnis über die Kombination mit dem Pausenmedium „Freiluftbewitterung“ bzw. „Flüssigdüngerbeaufschlagung“ von Bedeutung: die als Hauptprozeß während der Lastunterbrechung ablaufende Verformungsalterung führt zur Verfestigung plastisch verformter Bereiche und damit zur Erhöhung des elastischen Spannungsanteils. An der Rißspitze wird das Spannungsgleichgewicht zugunsten von Druckeigenspannungen in der Rißuferkontaktzone verschoben.

Für die Pausenmedien entsteht somit ein starker Eindringwiderstand in den Rißspalt, in dem sich außerdem Abprodukte des Spaltkorrosionsprozesses fest verhalten können und somit zu einer Rißverstopfung führen. So wird auch die weit über das bekannte Maß der Verformungsalterung hinausgehende Laufzeitverlängerung verständlich, die ein bereits angerissenes Bauteil unter Freiluftbewitterung noch aufweisen kann. Vergrößert man aber die Pausenhäufigkeit, tritt auch bei Düngerbeaufschlagung wäh-

rend der Pausen dieser Laufzeitverlängerung durch eine zunehmende örtliche Korngrenzenauflösung ein gegenläufiger Effekt auf, der zum beschleunigten Rißfortschritt führt.

4. Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchungen bestand in der Klärung des Umgebungseinflusses als Vorkorrosions- oder Pausenmedium auf die Lebensdauer der Bauteile. Der große Lebensdauerverlust, den die Bauteile bereits durch die Vorkorrosion erfahren können, wurde zweifelsfrei für ungekerbte und geschweißte Bauteile nachgewiesen. Sie kann als ein nicht zu unterschätzendes dauerbruchauslösendes Moment angesehen werden. Die Einwirkung eines Pausenmediums während der Abstellzeiten ruft z. T. gegenläufige Wirkmechanismen hervor und zeigt sich besonders bei nicht hoch vorgeschädigten Bauteilen anrißfördernd, so daß in beiden Fällen die bekannte Tatsache, korrosiven Einflüssen bereits möglichst frühzeitig zu begegnen, in alle Leitungsentscheidungen mit einzubeziehen ist. Dazu gehört, daß die Wasserreinigung mit einer mechanischen Reinigung kombiniert werden sollte und Konservierungen erst stets nach vollständiger Trocknung durchgeführt werden dürfen.

Literatur

- [1] Nitzschker, F.: Vergleichende Untersuchungen der Rißgeometrie bei Medien- und Lastuntersuchungen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1981.
- [2] Marti, B.: Einfluß des Mikroklimas auf die Korrosionsgeschwindigkeit. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Dissertation 1963.
- [3] Herbsleb, G.: Korrosionsverhalten von hochlegierten, nichtrostenden Stählen bei der Anwendung im Stahlbau. Der Stahlbau, Berlin (West) 47 (1978) 9, S. 269–278.
- [4] Schikorr, G.; Wassermann, G.: Über den Einfluß der natürlichen Witterung auf die Span-

nungskorrosion von Aluminiumlegierungen. Z. f. Metallkunde, Stuttgart 40 (1949) 6, S. 201–205.

- [5] Buchholz, H.; Frank, J.; Tauscher, M.: Der Einfluß einer atmosphärischen Korrosion auf die Tragfähigkeit von Proben aus verschiedenen Baustählen bei Zugschwellbeanspruchung. IfL-Mitteilungen, Dresden 17 (1977) 5, S. 161–167.
- [6] Fleischer, H.: Beeinflussung der statischen und dynamischen Tragfähigkeit der Baustähle durch atmosphärische Korrosion. IfL-Mitteilungen, Dresden 18 (1978) 5, S. 196–199.
- [7] Barton, K.; Bartonova, Z.: Auswertung dreijähriger atmosphärischer Korrosionsversuche mit Eisen, Kupfer und Zink aus tschechoslowakischen Prüfstationen. Werkstoff und Korrosion, Weinheim 20 (1969) 2, S. 87–93.
- [8] Burgmann, G.; Grimme, D.: Untersuchungen über die atmosphärische Korrosion von unlegiertem und niedriglegiertem Stahl bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen. Stahl und Eisen, Düsseldorf 100 (1980) 2, S. 641–650.
- [9] Rietzel, R.; Heinrich, K.: Unveröffentlichte Untersuchungen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg 1982.
- [10] Baumann, K.; Heider, W.: Vorträge des IV. Korrosionsschutzsymposiums der Zentralstelle für Korrosionsschutz am 17. April 1973 in Dresden, S. 29–43.
- [11] Gerlach, M.; Neumann, P.: Festigkeitsverhalten von Umlaufbiegeproben mit lichtbogenbeeinflussten Oberflächen. Schweißtechnik, Berlin 33 (1983) 3, S. 126–128.
- [12] Herfurth, H.: Ermittlung der Restlaufzeit vorgeschädigter Umlaufbiegeproben nach Lastunterbrechung mit Flüssigdüngerbeaufschlagung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1981.
- [13] Neumann, P.: Untersuchungen zum Belastungspauseneinfluß an gekerbten und ungekerbten Umlaufbiegeproben aus unlegiertem Baustahl. Technische Universität Dresden, Dissertation 1982.
- [14] Gaßmann, T.: Ermittlung der Gesamtdämpfung geschädigter Umlaufbiegeproben bei unterschiedlichen Beanspruchungszuständen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1982. A 4410

Landtechnische Dissertationen

Am 25. April 1984 verteidigte Dipl.-Ing. Ferenc Leidecker an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg erfolgreich seine Dissertation A zum Thema

„Untersuchungen zur Anwendung des gratlosen Gesenkschmiedens in der Instandsetzung von Zahn- und Kettenrädern“.

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. E. Rast, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

Prof. Dr. sc. techn. A. Neubauer, Technische Hochschule Magdeburg

Dr.-Ing. J. Stibbe, VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal.

Die wissenschaftliche Aufgabenstellung beinhaltet die Analyse der besonderen Eigenschaften der Instandsetzungsteile, die Prüfung des Warmumformverhaltens des Zahnwerkstoffs, die Erprobung- und Auswertung des gratlosen Gesenkschmiedens unter den Bedingungen der Einzelteilinstandsetzung, die Einordnung des gratlosen Gesenk-

schmiedens in den technischen Prozeß der Instandsetzung und die Untersuchung des ökonomischen Effekts.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß einsatzgehärteter Werkstoff unter den Bedingungen des gratlosen Gesenkschmiedens in einem kleinen Bereich umformbar ist. Die Herstellung der Zwischen- oder Endform der Zahn- und Kettenräder in der Instandsetzung ist durch das gratlose Gesenkschmiedens nach dem Prinzip der Werkstoffverdrängung mit Hilfe von Druckwulstelementen oder mit Hilfe der Durchsetzung möglich. Werkstofftechnische sowie dynamische Untersuchungen weisen nach, daß keine verfahrensbedingten Einflüsse auftreten, die die Haltbarkeit der Einzelteile herabsetzen.

Der Vergleich der technologischen Selbstkosten der umformenden Instandsetzung mit der Neuteilfertigung ergibt für die Instandsetzung eine vorteilhafte Kostenentwicklung.