

Die weltweit komplizierter gewordene Energie- und Rohstofflage veranlaßt alle Fachleute zu einer immer weiteren Suche nach Erschließung von Materialreserven. Die Schweißtechniker im Bereich der Landtechnik haben bei der ständigen Vergrößerung des Einzelteilsortiments für die Planung und den Einsatz von Grund- und Zusatzwerkstoff eine nicht unerhebliche Verantwortung. Im Fertigungsprozeß der Instandsetzung nimmt die Schweißtechnik mit rd. 56 % gegenüber allen anderen Fertigungsverfahren eine bedeutende Stellung ein und entscheidet sowohl den reibungslosen Produktionsablauf als auch maßgeblich die Qualität der Einzelteile. Darüber hinaus verlangt die Wissenschaftsentwicklung der Schweißtechnik eine ständige Weiterbildung der Kader, um auch die mit der Einführung progressiver Verfahrensvarianten notwendigerweise gekoppelte Peripherie besser zu beherrschen. Mit der 2. Weiterbildungsveranstaltung für Schweißingenieure im Bereich des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft, die am 13. Mai 1987 an der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg stattfindet, wird das Ziel verfolgt, die auf diesem Gebiet tätigen Fachleute mit neuen Forscherkenntnissen der Auftragschweißtechnik vertraut zu machen. Sie soll mithelfen, die mit der Verwirklichung neuer Schweißtechnologien zwangsläufig auftretenden ideologischen Barrieren weiter abzubauen. Der nachstehende Beitrag greift ein Problem der Tagung auf.

Der dynamische Tragfähigkeitsverlust instand gesetzter Einzelteile

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

1. Einführung

Die Grundlagen der gegenwärtigen Berechnungsvorschriften zur Dimensionierung von geschweißten Bauteilen haben sich bewährt und konnten bereits in den Jahren seit 1970 so weit entwickelt werden, daß sie dem Leichtbau im Landmaschinenbau relativ schnell zum Durchbruch verhalfen. Damit wird der zentralen Aufgabenstellung zur genaueren Festlegung der Lebensdauer oder Optimierung des Masse-Leistung-Verhältnisses entsprochen, weil mit der Einheit von Belastung, Gestaltung und Werkstoff das physikalisch-mechanische Schädigungsverhalten einer Schweißverbindung in den Mittelpunkt gestellt wird.

Bei erfolgreichen Schweißingenieuren der Landtechnik hat sich diese komplexe Denkweise für den Bereich der Verbindungsschweißung durchgesetzt. Sie verhindert Fehleinschätzungen bei Schadensfällen, Konstruktions- und Fertigungsprojekten durch eingeeengte Beurteilungskriterien für den Prozeß und die Qualität des Erzeugnisses.

Für den schweißtechnischen Aufarbeitungsprozeß bleibt dieser hohe wissenschaftliche Standard der prinzipiellen Herangehensweise noch Nahziel. Die vom XI. Parteitag der SED geforderte organische Verbindung von Wissenschaft und Praxis soll sowohl in der gezielten Forschung von Schwerpunkten der Praxis als auch in einer größeren Aufgeschlossenheit der Anwender ihren Ausdruck finden, um die Herausforderung, die sich mit der Expansion der Auftragschweißtechnik auf schweißkritische Werkstoffe oder vermehrt auch auf funktionsbestimmende Einzelteile ergeben hat, durch gemeinsame Verantwortung besser zu tragen.

2. Ermittlung des Einzelteilverhaltens nach der Instandsetzung

Beim Aufarbeitungsschweißen treten die Gesetzmäßigkeiten auf, die auch den Verbindungsschweißprozeß bestimmen, jedoch führen die Erwärmungs-, Wärmestau- und Abkühlungsverhältnisse zu Inhomogenitäten von Eigenspannungen und Gefüge. Der Verfahrenseinfluß bewirkt im Ergebnis der Instandsetzung bei verschiedenen Werk-

stoffen, Bauteilformen und späteren Einsatzbedingungen ein vermindertes Tragfähigkeitsvermögen. Aus Bauteiluntersuchungen von Petersohn [1] geht die spezifische Abminderung jeweils für ein Einzelteil hervor, die naturgemäß weder auf einen anderen Werkstoff oder eine andere Gestaltungsform noch auf Einzelteile mit anderen Belastungsarten und Einsatzbedingungen übertragbar ist. Trotzdem ist diese Vorgehensweise für funktionsbestimmende Einzelteile zweifelsfrei ökonomisch vertretbar, aber Forderungen nach einer wissenschaftlichen Verfahrensauswahl oder die Frage nach der Anwendung von Verfahrensfolgen bzw. Abschätzungen der Wiederholbarkeit zur Aufarbeitung von Einzelteilen können damit nicht beantwortet werden, abgesehen von der Erstellung eines Grundgerüsts zur Instandsetzungsgerechten Bemessung häufig aufzuschweißender Einzelteile, den bestehenden Vorschriften für geschweißte Bauteile angelehnt. Wie problembehaftet die Übertragbarkeit von Einzelergebnissen ist, zeigt das für die Vergütungsstähle typische Streuverhalten (Bild 1), das von der Vergütungsart, -höhe und der praktischen Durchführung sowie von der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffs und der Bauteilform abhängt und im Gegensatz zu Baustählen die Ermüdungsphasen zum frühzeitigeren Anriß hin verschiebt. Dieser Aspekt ist mit bruchmechanischen Untersuchungen explizit gut darstellbar (Bild 2). Die zwei extremen Wärmebehandlungszustände lassen die Anrißwie auch die Gesamtlastwechselzahl sehr weit auseinanderstehen. Um die Auswerteschwierigkeiten bei den Untersuchungen einzuschränken, sind zwei Grundvoraussetzungen zu erfüllen:

- Verlegung der Prüfbereiche in das Gebiet der begrenzten Festigkeit (Zeitfestigkeitsgebiet)
- zwingender Einsatz von gleichartigen Probekörpern.

Der verfahrensspezifische Tragfähigkeitsverlust wird als Quotient der Lastwechselzahl zwischen dem behandelten und dem unbehandelten Einzelteilzustand ermittelt, so daß mit standardisierten Kurzzeitprüfungen bei geschweißten Einzelteilen Übereinstimmung

besteht. Wenn die Versuchsprogramme für die Ermittlung des Tragfähigkeitsverlustes die wichtigsten Einflußgrößen auf den Ermüdungsprozeß einer Auftragschweißung berücksichtigen, ist eine Vergleichbarkeit jeweils für eine Gruppe durchmessergleicher, kerbfallgleicher und werkstoffähnlicher Einzelteile geschaffen.

3. Versuchsdurchführung

Entsprechend den formulierten Voraussetzungen wurden Untersuchungen an einem vergüteten Stahl C45 unter Verwendung einer Kompaktprobe des Prüfdurchmessers 40 mm mit definiertem Übergangsradius durchgeführt.

Als Schweißverfahren kam die MAG-Technik mit optimalen Schweißparametern zum Einsatz. Die MAG-Technik läßt sich streckenenergetisch über die Draht-Stromstärke-Gas-Variation in sehr großen Grenzen von $E = 110 \text{ kJ/cm}$ bis etwa $E = 200 \text{ kJ/cm}$ verändern. Mit dieser Verfahrensanwendung kann sehr gut der Frage nach dem Einfluß einer bestimmten Wärmeleitung nachgegangen werden, die bei „energiereduzierender“ Anwendung zu geringeren Gefüge- und Festigkeitsverschlechterungen führen soll [3].

Nach dem Auftragschweißen der Proben erfolgte eine mechanische Bearbeitung auf den Ausgangsdurchmesser. Wurde der Mehrfachschweißeinfluß untersucht, wiederholten sich die Arbeitsgänge Schweißen und Zerspanen bis auf den Ausgangsdurchmesser, so daß in jedem Fall der durch das Verfahren und den Werkstoff am meisten veränderte Bereich des Einzelteils die praktischen Instandsetzungsverhältnisse widerspiegelt und der Bruchmechanismus über die anrißfreundlichste Vermischungs- und Wärmeeinflußzone am Probenrand eingeleitet wird.

4. Ergebnisdarstellung und Diskussion

4.1. Einfluß der Aufarbeitungshäufigkeit

Im Bild 3 sind die Prüfergebnisse der unterschiedlich häufig aufgeschweißten Bauteilproben gegenübergestellt. Die Bruchwahrscheinlichkeiten stellen sich für alle Behandlungszustände auf dem gewählten Prüfhorizont normal verteilt dar, womit bei hohen

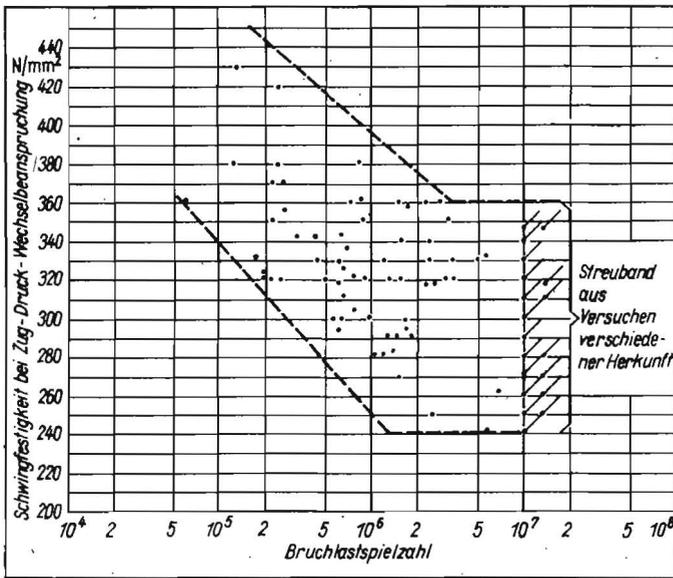


Bild 1. Wöhlerliniendarstellung für Zug-Druck-Wechselbeanspruchung ($\kappa = -1$) von ungekerbten Rundproben ($d = 5,6...12$ mm) aus C45 vergütet [2]

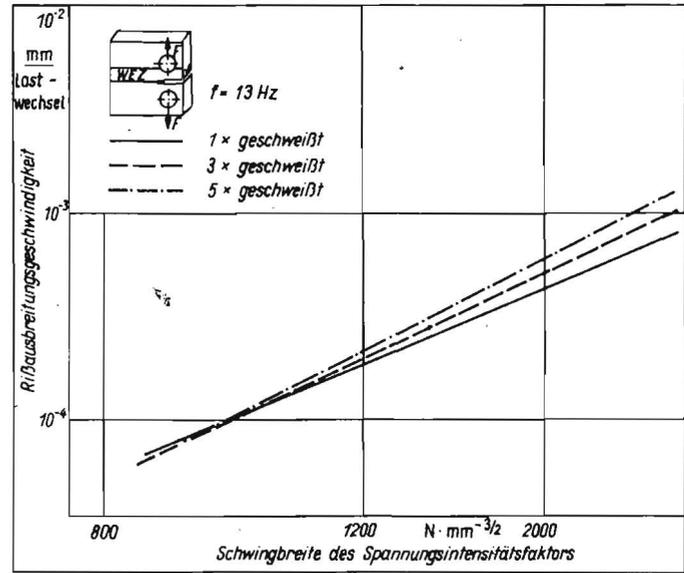


Bild 4. Regressionsgeraden des Rißfortschritts unterschiedlich häufig geschweißter CT-Proben [6]; WEZ Wärmebeeinfluszone

Aufschweißgraden die Abschätzung der mittleren Laufzeit mit geringerem Probenaufwand erfolgen kann. Die Mittelwerte der Laufzeiten der 3- und 5mal aufgeschweißten Proben unterscheiden sich statistisch nicht, obwohl mehr oder weniger deutlich trennbare Gefügeunterschiede an der Sollbruchstelle erkannt worden sind. Das steht auch mit der allgemein gesicherten Tatsache im Einklang, daß das Rißwachstum im grobkör-

nigen Gefüge nicht zwangsläufig größer sein muß als das des feinkörnigen Gefüges [5]. Das bruchmechanische Verhalten der Wärmebeeinfluszone eines mehrfach geschweißten vergüteten C45 wird im Bild 4 dargestellt. Die Neigungsunterschiede im Stadium des Rißfortschritts sind technisch als nicht bedeutsam zu werten. Das o. g. Laufzeitverhalten wird bestätigt, obwohl die CT-Probe als Verbindungsschweißung vorlag.

stand führt, im vorgenannten Beispiel praktisch unabhängig von der angewendeten Stromstärke.

Auch bei der Kurzlichtbogentechnik liegt bei erhöhter Aufschweißhäufigkeit ein ähnliches Bild hinsichtlich Lastwechselzahl, Gefüge und Härte vor (Bild 6) [4].

Ein Ausweg zur Verbesserung der Lebensdauer für bestimmte Bauteilgruppen ist fraglos die Anwendung von Verfahrensfolgen, z. B. die Kombination des Schweißens mit gezielter Kaltverfestigung.

Ein Wechsel auf andere Zusatzwerkstoffe brachte hingegen nicht den erwarteten Durchbruch in der Laufzeitsteigerung. Eine Verminderung der äußeren Kerbform jedoch scheint von allen bisher diskutierten Maßnahmen ökonomisch am wirkungsvollsten zu sein, weil nach der Instandsetzung der sprödbbruchindizierende Spannungszustand des Einzelteils gegenüber äußerer Beanspruchung entlastet wird (Bild 7).

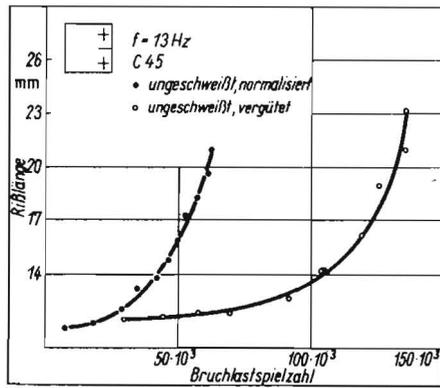
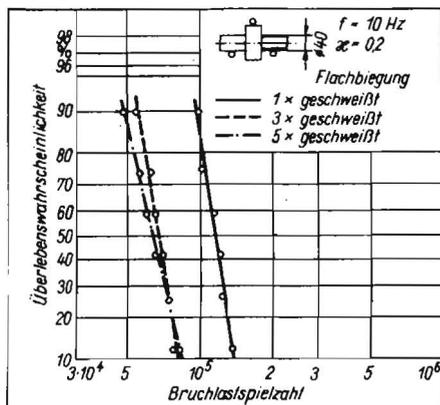


Bild 2. Darstellung der Rißlänge als Funktion der Lastwechselzahl

Bild 3. Darstellung der Bruchwahrscheinlichkeiten unterschiedlich häufig aufgeschweißter Proben [4]



Der mit einem Schweißeinfluß stets verbundene submikroskopische und gewachsene räumliche Spannungszustand ist gegenüber der Gefügevergrößerung die lebensdauerbestimmende Haupteinflußgröße, der in der bisherigen Betrachtungsweise zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet wurde, die der Auftragschweißtechnik dreidimensional ausgedehnter Einzelteile aber in viel größerem Maß eigen ist als dem Verbindungsschweißen. Der mehrachsige Spannungszustand kann zu einer totalen Versprödung anwachsen, für deren analytische Beschreibung bisher nur ungenügende Übereinstimmung mit praktischen Versuchen vorliegt [7 bis 11]. Das Festigkeitsverhalten von aufgeschweißten rotationssymmetrischen Einzelteilen ist stark spannungsindiziert und mit der Funktionsbeschreibung der ertragbaren Spannung beim Verbindungsschweißen vergleichbar. Es wird für alle herkömmlichen Werkstoffe etwa gleichermaßen von der äußeren Gestalt und den Einsatzbedingungen dominiert bestimmt.

Im einzelnen wird mit den Ergebnissen erkennbar, daß für die Gruppe von Einzelteilen, die nicht nach dem System der Betriebsfestigkeit dimensioniert sind (Ausnahmen) das bisherige Dogma der Begrenzung der Wiederholbarkeit neu überdacht werden kann. Diese Überlegung schließt aber für Einzelteile neueren Typs eine engere Limitierung der Aufschweißhäufigkeit ein.

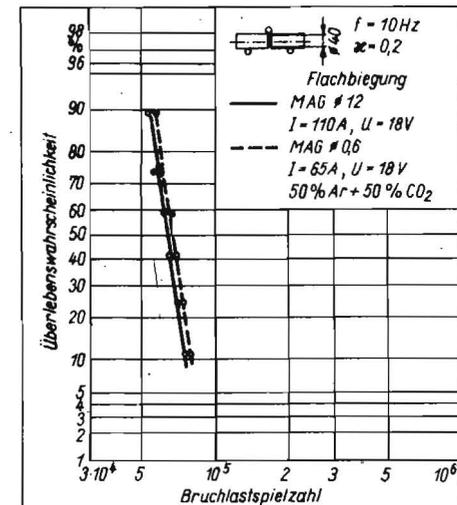
4.2. Einfluß des Verfahrens

Im Bild 5 sind die Laufzeitergebnisse der Langlichtbogen- einer Kurzlichtbogenvariante gegenübergestellt. Das Ergebnis zeigt, daß die spiralförmige MAG-Auftragschweißtechnik zu ein und dem gleichen Laufzeitfiasco gegenüber dem ungeschweißten Zu-

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Im Beitrag werden Ergebnisse von Schwingfestigkeitsversuchen unterschiedlich häufig

Bild 5. Gegenüberstellung der Bruchwahrscheinlichkeiten von Verfahrensvarianten [4]



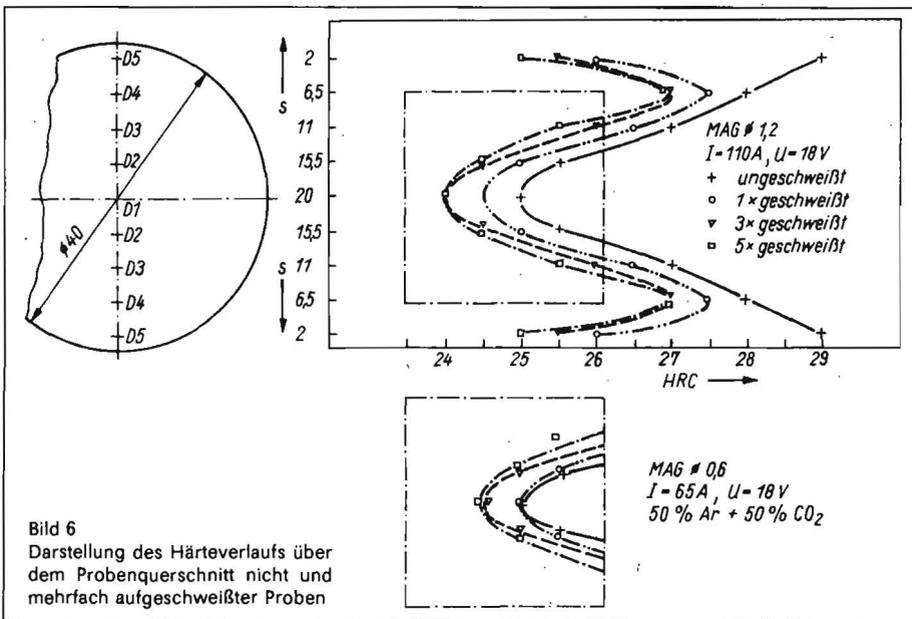


Bild 6 Darstellung des Härteverlaufs über dem Probenquerschnitt nicht und mehrfach aufgeschweißter Proben

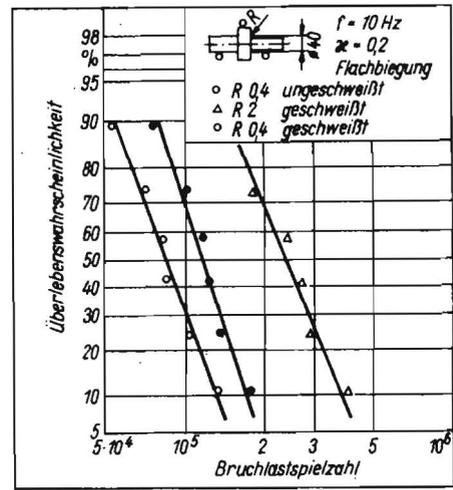


Bild 7. Gegenüberstellung der Bruchwahrscheinlichkeiten bei unterschiedlich ausgeführten Übergangsradien

aufgeschweißter Proben dargestellt und diskutiert. Die Versuchsergebnisse sind statistisch gesichert. Dabei konnte der Nachweis erbracht werden, daß sich eine Veränderung der Stromstärke als Einfluß auf die Gefügestruktur bemerkbar macht, nicht aber auf das reale dynamische Festigkeitsverhalten im Zeitfestigkeitsbereich. Als Ursache wird die Bildung von Zugeigenspannungen als ein Hauptterm des mehrachsigen Spannungszustands genannt, der sich bei spiralförmigen Aufschweißungen aufgrund der räumlichen Anordnung von Schweißnaht und Grundwerkstoff einstellt, im wesentlichen unabhängig von der Kombination Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff. Der Grad der Versprödung, der kritische Bereiche eines Einzelteils erfaßt, läßt sich wegen seines komplexen Zusammenwirkens von Einzelteilgröße und -form, Einsatzbedingungen, Häufigkeit der Verfahrensanwendung und Duktilität des Werkstoffs bis jetzt analytisch nicht bestimmen. Die Tendenz zum Verhalten eines Einzelteils

infolge Verfahrenseinfluß kann zumindest über eine Kurzzeitprüfung einer der einzelteildurchmesser- und kerbformgetreuen Probenform in Erfahrung gebracht werden. Für Technologiefreigaben könnte das die notwendige Schlußfolgerung sein.

Literatur

- [1] Petersohn, H.-J.: Einbeziehen von Haltbarkeitsuntersuchungen in die Festlegung von Regenerierungsvarianten für Einzelteile. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 4, S. 174-177.
- [2] Autorenkollektiv: Wöhlerlinienkatalog. Institut für Leichtbau Dresden, 1986.
- [3] Kamenarov, G.; Pankow, U.: Über die Beeinflussung der Eigenschaften des Grundwerkstoffes bei der Instandsetzungsschweißung vergüteter Einzelteile. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 3, S. 120-121.
- [4] Fischer, R.-P.; Schmidt, F.: Untersuchungen zum Einfluß von Mehrschichtschweißungen auf die Bauteilfestigkeit. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion T1, Diplomarbeit 1986.
- [5] Koch, G.: Beitrag zum Rißfortschrittsverhalten

von Schmelzschweißverbindungen höherfester Stähle bei dynamischer Belastung. Technische Hochschule „Otto von Guericke“ Magdeburg, Dissertation 1978.

- [6] Pietsch, M.: Untersuchungen zum Einfluß des MAG-Schweißens auf das Rißfortschrittsverhalten von unlegierten Vergütungsstählen. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion T1, Diplomarbeit 1986.
- [7] Schnadt, H.-M.: Neue Prüfmethode von Stählen und Schweißwerkstoffen für große Schweißkonstruktionen. Oerlikon-Schweißmitteilung, Eisenberg 15 (1957) 26, S. 5.
- [8] Okerblom, N. O.: Schweißspannungen in Metallkonstruktionen. Halle: VEB Carl Marhold Verlag 1959.
- [9] Hänsch, H.: Schweißspannungen und Formänderungen an stabartigen Bauteilen: Berechnung und Bewertung. Berlin: VEB Verlag Technik 1984.
- [10] Rühl, K.: Die Sprödbrechbarkeit von Stahlkonstruktionen. Düsseldorf: Werner-Verlag 1959.
- [11] Krebs, J.: Festigkeitsverhalten von Schweißverbindungen bei veränderlicher zweiachsiger Beanspruchung. Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Dissertation 1966. A 4907

Arbeitsschutz bei Schweiß- und Schneidarbeiten in der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft

Dozent Dr.-Ing. F. Weikert, KDT, VEB Metalleichtbaukombinat, Werk Magdeburg
 Prof. Dr. sc. techn. K.-D. Röbenack, KDT, Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar
 Dipl.-Ing. Sabine Winterhoff, Technische Universität „Otto von Guericke“ Magdeburg,
 Sektion Technologie der metallverarbeitenden Industrie

Der hohe Mechanisierungsgrad in der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft bedingt in zunehmendem Maß den Einsatz der Schweiß- und Schneidtechnik für Reparatur- und Instandsetzungsarbeiten. Diese Arbeiten werden meistens in nach betrieblicher Vorschrift für Schweiß- und Schneidarbeiten freigegebenen Arbeitsstätten (TGL 30 270/03, Punkt 1.2.14.) oder unmittelbar vor Ort, also in der Nähe von leicht entzündlichen Materialien, durchgeführt, wobei dieser Bereich besonders gefährdet ist [1]. Bei der Durchführung der o. g. Arbeiten können Schadensfälle, Brände und Unfälle ent-

stehen, von denen nachfolgend typische Beispiele ausgewertet werden sollen.

1. Fachbereichspezifische Ausführungsbestimmungen

Für die Ausführung von Elektro-Schweiß- und Schneidarbeiten in Räumen, in denen Rinder, Schweine, Schafe und Pferde gehalten werden, sind gemäß Genehmigung Nr. 48/GS/227/81 des ASMW vom 28. Dez. 1981 die Festlegungen der Standards TGL 30 270/02 Punkt 2.2.4.2.5.2. und TGL 30 270/03 Punkt 1.2.16. aufgehoben. Dafür wurden von der Zulassungskommis-

sion für Schweißbetriebe der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft Festlegungen erarbeitet, die für LPG, GPG, VEG, kooperative Einrichtungen sowie andere volkseigene Betriebe, Genossenschaften und Einrichtungen und für volkseigene Kombinate der Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft einzuhalten sind [2]:

- Das verwendete Elektroschweißgerät muß gemäß den geltenden Rechtsvorschriften überprüft sein. Die Leerlaufspannung darf die Werte des Standards TGL 30 270/2 Punkt 2.2.4.2. nicht überschreiten.