



## 33. Schweißtechnische Fachtagung

Eine Gemeinschaftsveranstaltung von:

**Schweißtechnische  
Lehranstalt Magdeburg**  
Gemeinnützige GmbH



**16. Mai 2024**

**Barleben**



DVS BV-MAGDEBURG



## Impressum

### 33. Schweißtechnische Fachtagung

Herausgeber\*innen:

Manuela Zinke, René Schasse und Marlen Wenzel

Kontaktadresse:

Lehrstuhl für Fügetechnik

Institut für Werkstoff- und Fügetechnik

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Universitätsplatz 2

39106 Magdeburg, Germany



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 Lizenz (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell, sofern der neu entstandene Text unter derselben Lizenz wie das Original verbreitet wird.

(Lizenz-Text: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. Schaubilder, Abb.en, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

ISBN 978-3-948749-46-0

DOI 10.25673/116050

1. Auflage, Mai 2024

Bildnachweis Titelblatt:

Fotos: Frank Adam

Manuskriptdrucke. Die Autor\*innen zeichnen für ihre Beiträge inhaltlich selbstverantwortlich. Die Manuskripte wurden durch die Herausgeber\*innen nur redaktionell bearbeitet.

© 2024



## Inhalt

Vorwort .....	4
<b>Stahlleichtbauten der DDR - Erhaltungszustände und Nutzungsperspektiven</b> V. Mende, Freiberg und A. Heinrich, Braunschweig .....	7
<b>Baustähle aus China – Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser</b> J. Schuster, Halle .....	31
<b>Wie Künstliche Intelligenz Schweißprozesse und deren Qualitätssicherung verbessern kann</b> M. Wirth, T. Girresser, F. Muhs, R. Polzin, Wissen (Sieg).....	47
<b>Wasserstoff - Eine Alternative zum Brenngas Acetylen beim Flammrichten? Stand der Entwicklung, Forschung und Anwendung</b> A. Vogelsang, Groß-Umstadt .....	53
<b>Kalibrieren, Validieren und Verifizieren in der Schweißtechnik - warum und wie muss überwacht werden? Anforderungen aus der Qualitätssicherung und aus den Produktnormen</b> J. W. Mußmann, Meerbusch .....	64
<b>Rührreibschweißen im Anlagen- und Behälterbau – jetzt auch an Stahlkonstruktionen möglich</b> R. Boywitt, Berlin .....	80
<b>Welche Möglichkeiten bietet das Handlaserschweißen auch in Handwerksbetrieben?</b> R. Marahrens, Essen .....	90
<b>Reused Steels-Wiederzuverwendende Stähle – Ein Überblick zum gegenwärtigen Stand der europäischen Normung</b> R. Schasse, Magdeburg.....	101
<b>Autorenverzeichnis.....</b>	105
<b>Posterbeiträge.....</b>	106
<b>Vorankündigung .....</b>	118

## Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

bereits seit vielen Jahren findet unsere Schweißtechnische Fachtagung ein breites Interesse bei klein- und mittelständischen Unternehmen sowie Vertretern von Industrie, Lehre und Forschung. In diesem Jahr findet diese Gemeinschaftsveranstaltung bereits zum 33. Mal statt.

Wir freuen uns, Ihnen auch diesmal ein vielfältiges Programm mit hochkarätigen Fachvorträgen präsentieren zu können. Von der Erhaltung und Nutzungsperspektiven von Stahlleichtbauten der DDR über die Themen Vertrauen und Kontrolle bei Baustählen aus China bis hin zu innovativen Ansätzen wie der Nutzung von künstlicher Intelligenz zur Verbesserung von Schweißprozessen – diese Tagung verspricht spannende Einblicke und Diskussionen.

Wir werden uns auch mit aktuellen Entwicklungen wie der Verwendung von Wasserstoff als Alternative zum Brenngas Acetylen beim Flammrichten, dem Rührreibschweißen im Anlagen- und Behälterbau sowie den Möglichkeiten des Handlaserschweißens in Handwerksbetrieben auseinandersetzen.

Zudem werden wichtige Themen wie Produktsicherheit und Normen in der Schweißtechnik beleuchtet.

Sie sind herzlich eingeladen, sich aktiv an den Diskussionen zu beteiligen und Ihr Fachwissen zu erweitern. Besuchen Sie auch die begleitende Fachausstellung und tauschen Sie sich mit anderen Teilnehmern aus.

Wir sind überzeugt, dass diese Fachtagung einen wertvollen Beitrag zur Weiterentwicklung der Schweißtechnik leisten wird und freuen uns auf Ihren Besuch und eine gelungene Veranstaltung.

M. Wenzel  
DVS Bezirksvorstand  
Magdeburg

Prof. S. Jüttner  
Institut für Werkstoff- und Fügetechnik  
Lehrstuhl Fügetechnik

Dr. R. Schasse  
Schweißtechnische Lehranstalt  
Magdeburg gGmbH

Magdeburg, im Mai 2024

## Das Dienstleistungsangebot der SL Magdeburg gGmbH



### Wir sind Ihr kompetenter Partner

- für** Schweißerausbildung im MAG-Schweißen, WIG-Schweißen, E-Schweißen, Gas-Schweißen UP-Schweißen und Bolzen-Schweißen
- für** Ausbildung zur Flammrichtfachkraft
- für** Qualifikation zum Sichtprüfer nach DIN EN ISO 9712
- für** Qualifikation zum Internationalem Schweißfachmann und Schweißpraktiker
- für** Schweißerausbildung und –prüfung nach Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU und DIN EN ISO 9606



### Wir sind autorisierter Dienstleister

- als** Anerkannte unabhängige Überwachungsstelle nach Landesbauordnung
- für** Betriebszertifizierungen nach DIN EN 1090, DIN EN ISO 3834 und DIN EN ISO 17660
- für** Begutachtung von Schadensfällen
- für** Werkstoff- und Schweißnahtprüfungen
- für** Ergänzende Werkstoffprüfungen (Z-Güten, Aufschweißbiegeversuch, Warmzugversuch)
- für** Schweißverfahrensprüfungen u. Arbeitsproben
- für** Nachtestierung für alle Abnahmeorganisationen



### Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg gGmbH

An der Sülze 7  
39179 Barleben  
Telefon: 039203/761-0  
Telefax: 039203/761-55  
E-Mail: [info@sl-magdeburg.de](mailto:info@sl-magdeburg.de)

# Erweiterte Fördermöglichkeiten für Unternehmen durch das Qualifizierungschancengesetz

Das „Gesetz zur Stärkung der Chancen für Qualifizierung und für mehr Schutz in der Arbeitslosenversicherung“, kurz „Qualifizierungschancengesetz“, ermöglicht Kleinbetrieben, mittelständischen Unternehmen (KMU) sowie größeren Betrieben Fördermittel für die Weiterbildung ihrer Arbeitnehmer zu beantragen. Darüber hinaus können neben den förderfähigen Lehrgangskosten auch Arbeitsentgeltzuschüsse beantragt werden. Mögliche Förderungen sind z.B.:

Betriebsgröße	Zuschuss zu Lehrgangskosten	Zuschuss zu Arbeitgeberentgelt
Kleinbetriebe mit 1 – 9 Mitarbeitern	bis zu 100 %	bis zu 75 %
Betriebe mit 10 – 249 Beschäftigten (KMU)	bis zu 50 %	bis zu 50 %
<i>jedoch ältere ① oder schwerbehinderte ② im KMU</i>	bis zu 100 %	bis zu 50 %
Betriebe mit 250 – 2499 Beschäftigten	bis zu 25 %	bis zu 25 %
Betriebe mit 2500 und mehr Beschäftigten	bis zu 15 % bzw. 20 % ③	bis zu 25 %

① „älter“ entspricht einem Alter ab 45 Jahren

② i.S. des § 2 Abs. 2 SGB IX, Grad von min. 50 %

③ abhängig vom Vorliegen von Betriebsvereinbarungen bzw. Tarifverträgen zur beruflichen Weiterbildung

Die Förderung weiterbildungsbedingter Ausfallzeiten durch einen Arbeitsentgeltzuschuss (AEZ) ist auch für Weiterbildungen, die nicht zu einem Berufsabschluss führen, möglich.

Beachtet werden muss allerdings, dass Beschäftigte nur gefördert werden können, wenn der letzte erworbene Berufsabschluss bereits mindestens vier Jahre zurückliegt bzw. in den letzten vier Jahren keine Förderung gemäß § 82 SGB III erhalten haben. Darüber hinaus sind nur Weiterbildungen förderfähig, die von einem zugelassenen Träger durchgeführt werden und mehr als 120 Stunden (also mindestens 121 Stunden) umfassen.

Für geringqualifizierte Mitarbeiter, die an berufsabschlussorientierten Weiterbildungen teilnehmen, gelten diese Einschränkungen nicht!

Ein Rechtsanspruch auf die Fördermittel besteht nicht.

## Ihre Ansprechpartner:

Adam Kassawat

Tel.: 039203 761 - 36

Mobil: 0151 292293 - 82

E-Mail: [kassawat@sl-magdeburg.de](mailto:kassawat@sl-magdeburg.de)

Marco Brietz

Tel.: 039203 761 - 43

Mobil: 0151 292293 - 77

E-Mail: [brietz@sl-magdeburg.de](mailto:brietz@sl-magdeburg.de)

## 1. Einführung

Mit dem zunehmenden Interesse der Öffentlichkeit am Thema des nachhaltigen Bauens treten auch Bestandsbauwerke in den Fokus der Fachwissenschaft. Wirken Begriffe wie "Re-Use" oder "Graue Energie" noch etwas erklärungsbedürftig, können wir die Frage, was wir denn mit unserem Projekt bezwecken, klar antworten: erst die Kenntnis über Planung, Entstehungszusammenhänge eines Bestandsbauwerkes und dahinter stehende ökonomisch-politische Bedingungen sowie ihre heutigen Erhaltungszustände machen es möglich, die Um- und Weiternutzung oder den konstruktiven Umbau für zukünftige Nutzungen verständlich darzustellen. Gewiss, mit unserem Teilprojekt innerhalb eines großen Forschungsclusters reißen wir nur an der Oberfläche, haben jedoch, so unser Eindruck, nach drei Jahren Forschung bereits Erfolge in sowohl wissenschaftlich-theoretischer als auch in praktischer Anwendung der Kenntnisse über Stahlleichtbauten der DDR vorzuweisen. Davon soll hier ausschnittsweise berichtet werden [1].

### 1.1 Projektbeschreibung

Das Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft "Kulturerbe Konstruktion" ermittelt in zwei Förderphasen von 2021 bis 2027 grundlegende Aussagen zum Bedeutungsgehalt des Ingenieurbauwesens nach ca. 1870. Unser Teilprojekt von 2021-2024 trug den etwas sperrigen Namen "Stahl- und Metallleichtbau in der DDR (C4). Rekonstruktion und Analyse der baukonstruktionsgeschichtlichen Entwicklung des Stahl- und Metallleichtbaus in der DDR unter Zuhilfenahme des Modellbestands des 'Metallleichtbaukombinats Leipzig'" [2]. Projektpartner sind das Institut für Bauwerkserhaltung und Tragwerk der TU Braunschweig sowie das Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte der TU Bergakademie Freiberg.

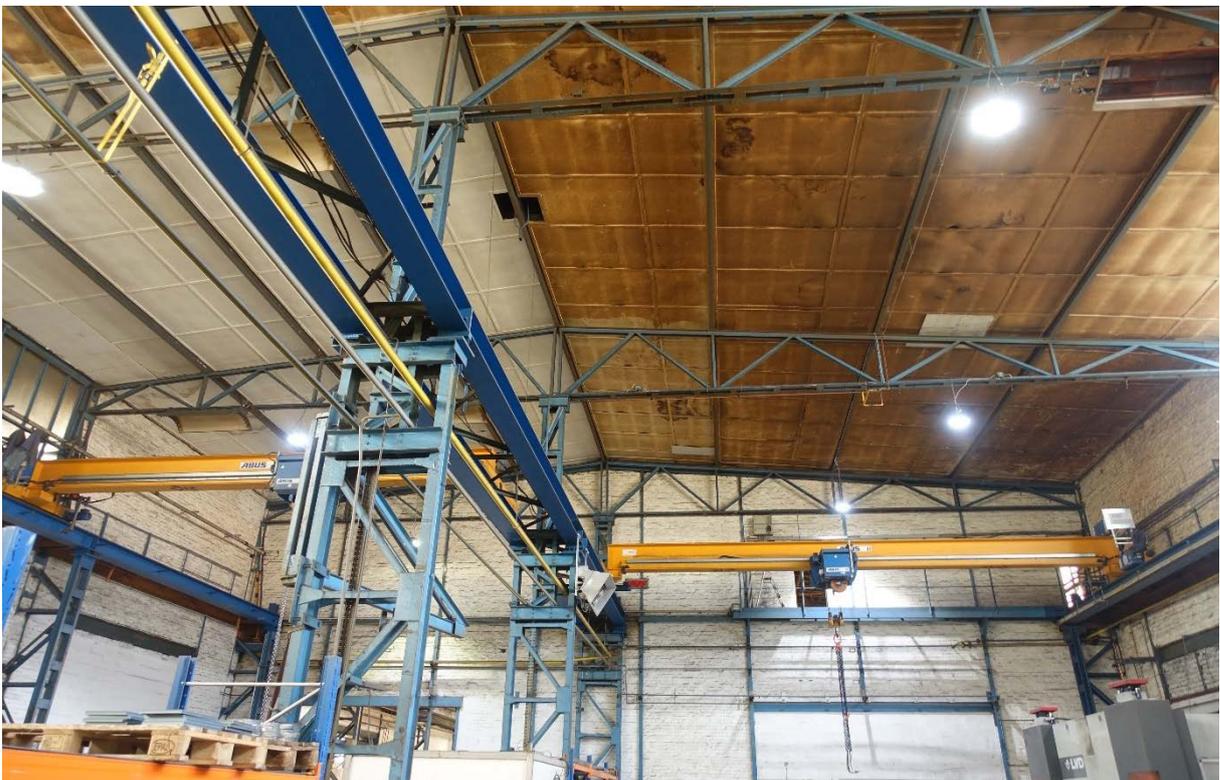
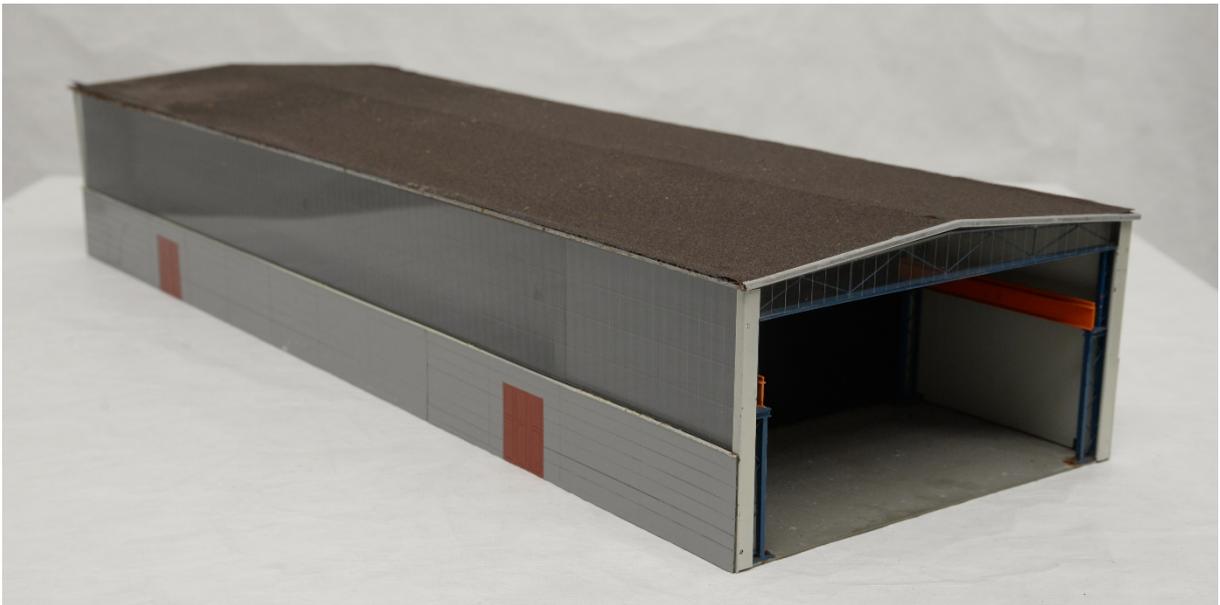


Abb. 1: In den frühen 1960er Jahren entstanden erste Stahlleicht-Fachwerkhallen, hier noch mit alter Stützgliederung und Dämmleichtstoffdecke. Industriehalle in Dessau. Foto: Volker Mende, 2021.



*Abb. 2: Weiterentwickelte Fachwerkstütze um 1969, hier im Modell einer Halle mit Kranbahn in M 1:100. Sammlung und Foto: Kustodie der TU Bergakademie Freiberg, 2021.*

Während wir bezüglich unserer Ausgangsquelle, den Präsentationsmodellen des "VEB Metallleichtbaukombinat" (MLK), vollständig ans Ziel gelangten, ist dies bei der wirtschaftshistorischen Analyse eines ganzen Wirtschaftszweiges des DDR-Bauwesens kaum zu leisten gewesen. Moderne wissenschaftliche Publikationen zur Geschichte der Bauindustrie der DDR fehlen bis auf eine Ausnahme [3].

Zeitzeugen sind oft mehr als überaltert. Die archivalischen Bestände in den Bundes- und Landes- und Stadtarchiven sind dürrftig und unbearbeitet. Unser Projekt hat sich aus dieser Situation heraus nur auf wirtschaftshistorische Einordnungen [4]., Einzeluntersuchungen [5]., einer Analyse einer ausgewählter Tragwerksarten [6]. - und die nähere Betrachtung der Präsentationsmodelle [7]. beschränken müssen. Ein Überblicksbeitrag stellt erste Ergebnisse vor [8].

## 1.2 Die Präsentationsmodelle

Der VEB MLK betrieb von 1969 bis 1990 im Werk Niesky/Oberlausitz eine kombinatsübergreifende Präsentationsmodell-Werkstatt. Fast jedes Modell wurde zum Zwecke der internationalen Vermarktung eines bestimmten Bauproduktes gefertigt. Nach Aufstockung der Werkstatt von drei auf vier Mitarbeiter stieg ab 1984 der Modellausstoß um mehr als das Doppelte, ein Beleg für die radikale Umstellung der MLK-Produktion auf den Export. Ab 1986 führte man die „Modelle für Wirtschaft und Wissenschaft“ unter einer staatlichen E(rzeugnis- und L(eistungs)N(onenklatur)-Nummer, sodass die Modelle nunmehr eine staatliche Warenposition innerhalb des Finanztitels „Industrielle Warenproduktion“ des Werkes Niesky einnahmen. Die 86 noch erhaltenen Präsentationsmodelle des MLK gelangten 1995 per Überlassung an die Bergakademie, wo sie als Zeugnis der Wissenschaftsgeschichte der, eng mit der Stahlforschung der DDR verbundenen, Hochschule inventarisiert sind. Sie weisen keine Datierung, Typenbeschriftung oder sonstige, schriftliche Kennungen auf. Die Konstruktion der Modelle ist deswegen so robust, weil alle Modelle als see- und flugtauglich ausgeführt worden sind. Das Funktionsmodell zum Hubverfahren der Bindermontage am „Palast der Republik“ weicht davon durch seine Fragilität ab.

Ziel des MLK war, die Leipziger Frühjahrs- und Herbstmessen mit den jeweils neuesten Typenentwürfen zu bespielen. Die Präsentationsmodelle bildeten also einen wesentlichen Faktor, da sie sich unmittelbar neben der Sitzgruppe befanden, an welcher die Exportverträge abgeschlossen worden sind. Damit spiegeln sie einen Teil des Exportgeschäftes des Stahlhochbaues der DDR wider.

Es liegen MLK-Modelle im Maßstab 1:50, 1:75 und 1:100 vor. Die Tragwerke sind in auffälligen Farben gehalten, die Hüllen stellen Struktur und Oberfläche des Originals beim potentiellen Kunden dar. So bedeutet z.B. silberne Lackierung eine Verzinkung und glatte, weiße Verkleidung mit Riefen eine

„Gassilikatbeton“ - Fassade.



Abb. 3: Präsentationsmodell einer ‚6-kt-Kühlhalle‘ in M 1:50. Sammlung und Foto: Kustodie der TU Bergakademie Freiberg, 2021.



Abb. 4: Idealisertes Stahlbaumodell der Konstruktion des ‚Palast der Republik‘ in Berlin. Es zeigt einen, in der Realität nie so sichtbaren, Zwischenzustand der Tragwerksmontage. Rechts werden gerade mittels zweier Hubbühnen die 87-m-Binder über dem Großen Saal angehoben. M 1:100, Sammlung und Foto: Kustodie der TU Bergakademie Freiberg, 2022.

## 2. Stahlleichtbau der DDR

„Die Zukunft beginnt morgen“, schrieb MLK-Gründungsdirektor Grünheid zu Jahresbeginn 1971 [9]. Die zukunfts euphorische, von technischen Grundlagen getragene Vision des leichten Bauens mit Stahl und Aluminium wurde im Rahmen des ‚Großbaukastens Metallleichtbau‘ verfolgt. Technologisch konnte man auf Vorarbeiten aus dem Wohnungsbau aufbauen, jedoch wollte man die Aufgabe nun schneller und effektiver lösen, als es Stahlbeton- und Mauerwerksbau taten. Der Topos des ‚leichten ökonomischen Bauens‘ schien nach den Parteitagebeschlüssen von 1958 Realität werden zu können, doch kaum war mit den ersten Versuchsreihen begonnen, setzte die politische Ebene mit Grenzschließung und Abkapselung der DDR neue Prämissen. Bauwissenschaftliche Untersuchungen aus dem Jahr 1968 zum Leichtbau als Zukunftssystem und zum Metallleichtbau legten die Grundlage für das Produktionsprofil des MLK [10].

## 2.1 Frühphase

Nachdem sich 1956 eine Industrievereinigung von Stahl- und Förderanlagenbaubetrieben gebildet hatte, erfolgte 1958 die Gründung der Vereinigung Volkseigener Betriebe (VVB) Stahlbau, die dem Ministerium für Schwermaschinenbau unterstand [11]. Offensichtlich hatten zu diesem Zeitpunkt bereits mehrere Betriebe auf Eigeninitiative hin Experimentalbauten in Leichtbauweise errichtet, teils unter Verwendung von Aluminium. Ein im Juli 1959 im Auftrag der Deutschen Bauakademie (DBA) zentral angeordneter Testbau aus Stahlfachwerk auf der Landwirtschaftsmesse ‚agra‘ in Markkleeberg kann als Nukleus des leichten Bauens in der DDR gelten [12]. Ende 1961 beschloss eine DBA-Fachgremiensitzung „Grundsätze zur Entwicklung des Leichtbaus in der DDR“ [13]. Doch bei aller fachlichen Begeisterung war es letztlich das Politbüro, das die Entscheidung zur technisierten Strukturpolitik, von der SED zur „wissenschaftlich-technischen Revolution“ (v)erklärt, traf. Im Januar 1963 hatte der VI. Parteitag der SED die Grundsätze des Neuen Ökonomischen Systems der Planung und Leitung (NÖS) beschlossen, mit welchem ‚Plan‘ und ‚Markt‘ besser miteinander verbunden und ein effizienteres Wirtschaften ermöglicht werden sollten [14].

## 2.2 Variantenreiches typisiertes Bauen

Die Gründung eines zentralen Großbetriebs für den Stahl- und Metalleichtbau lag bereits Ende 1959 auf dem Tisch, misslang aber aus unbekanntem Gründen [15]. Die vermutlich erste Ministerratsvorlage zur Zerschlagung der VVB Stahlbau und Neugründung eines Industriebaukonglomerates datierte auf den Juni 1962 [16]. Dem lag die Erkenntnis zu Grunde, dass die DDR „trotz einer starken quantitativen Entwicklung der Stahlbetonindustrie gerade bei der Produktion neuer, leichter effektiverer Arten von Beton ganz erhebliche Rückstände“ hatte [17].

Am 18.11.1966 legte Bauminister Junker dem Politbüro „Maßnahmen für die vorrangige Entwicklung und Anwendung des Metalleichtbaues zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Bauwesens“ vor, ausgearbeitet „im Auftrage des Mitgliedes des Politbüros und Sekretärs des ZK der SED, Genossen Dr. Günter Mittag“ und in Abstimmung mit dem stellvertretenden Minister für Bauwesen, Gerhard Poser [18]. Den administrativen „Beschluss über die vorrangige Entwicklung und Anwendung des Metalleichtbaus“ fasste der Ministerrat allerdings erst am 05.10.1967. Vermutlich ist die ‚erste‘ Gründung eines Metalleichtbaukombinates als VE(B) MLK mit Sitz in Halle am 01.01.1968 nur als administrative Vorleistung des Ministeriums zu werten. Hier waren lediglich vier Werke provisorisch, und noch innerhalb der VVB Industrieanlagen- und Stahlbau (IAS) zusammengefasst. Ab dem 01.04.1968 galten dann die wichtigsten Stahlbaubetriebe als dem Bauwesen zugeordnet und verloren ihre traditionelle Identität als Metallhandwerker [19]. Mit Beschlussfassung des Ministerrats erfolgte die zum 01.01.1969 wirksame Gründung des ‚Volkseigenen Betriebes (VEB) Metalleichtbaukombinat‘ unter Einbeziehung weiterer volkseigener Stahlbaubetriebe.

Zum 31.01.1968 hatte man den ersten Stahlleichtbau-Typenkatalog der DDR vorgelegt [20]. Diese Entwürfe hatten verschiedene staatliche und halbstaatliche Stahlbaubetriebe der VVB Stahlbau in den 1960er Jahren eigenständig entwickelt. Aus dieser Epoche haben sich die noch heute im Landwirtschaftsbau überlieferten und gern genutzten Thost'schen Rahmenbinder erhalten. Man erkennt sie leicht an der verschraubten, schmalen Kopfstrebe. Schon um 1961 hatte der VEB Stahlbau Plauen mit Varianten eines parallelgurtigen Fachwerkbinders begonnen. Dieses System ist noch heute als Unterstell- und Bergehalle in Landwirtschaft und Industrie voll in Nutzung und ein schönes Beispiel für die Langlebigkeit von DDR-Stahlleichtbauten.

Vor allem mit dem montagefertigen Stabnetzfaltwerk ‚Typ Berlin‘ leistete das MLK einen wichtigen Beitrag zum leichten und ökonomischen Bauen. Wir finden dieses flexible System mit einem speziell entwickelten Teller-Bolzen-Knoten heute noch in vielen Sport- und Industriehallen. Für das Textilkombinat Cottbus wurde bis Oktober 1972 eines der ersten und größten Industrieobjekte in dieser Metalleichtbauweise gefertigt und montiert. Hier wurden rund 110.000 Quadratmeter Dachfläche eingesetzt [21]. Im Gegenzug musterte man das zeitgleich entwickelte, aber aufwändig zu montierende Dachsystem ‚Waren‘ aus, das heute quasi aus dem Baubestand verschwunden ist [22]. Es stellte das erste räumliche Tragwerk aus Stahl in der DDR dar.



Abb. 5: Der frühe, unterspannte Parallelfachwerkbinder weist eine hohe Anzahl an Kopfsteeben und Pfetten auf. Das Endfeld ist aufwendig verstärkt. Baarsdorf. Foto: Volker Mende, 2023.



Abb. 6: Das erste Stahlleicht-Raumtragwerk der DDR, der Typ ‚Waren‘ bestand noch aus einer Vielzahl an Stablängen und -querschnitten. Auf dem Bild ein seltenes Original aus dem Jahr 1972 in Leipzig. Foto: Volker Mende, 2021.



Abb. 7: Das räumliche Stabnetztragwerk ‚Typ Berlin‘ überbrückt große Flächen stützenfrei. Weiter in Nutzung ist die Sporthalle in Tangerhütte. Foto: Volker Mende, 2022.



Abb. 8: Die Grenzübergangsstelle Marienborn, Denkmal der deutschen Teilung, zeigt die eindrucksvolle Wirkung des Stabnetztragwerkes ‚Typ Berlin‘ als Schutzdach. Foto: Volker Mende, 2022.

Mit seiner industriellen Vorfertigung, dem hohen Komplettierungsgrad und dem geringeren Transportbedarf hatte sich der Metalleichtbau in den frühen 1970er Jahren zu einem entscheidenden Element für die Industrialisierung des Bauens profiliert. Im Alltag erschwerten jedoch Struktur- und Kompetenzfragen die Arbeit des MLK. Etwa sollte das bewährte Produktionsprinzip, dass eine direkt an die Erzeugnisstruktur gebundene, produktorientierte Leitungsstruktur beinhaltet [23], durch den sog. Bauwirtschaftsrat abgelöst werden [24]. Als Zuarbeit zum ‚Großbaukasten Mehrzweckgebäude‘ entwickelte das MLK in dieser Zeit systematisch untergliederte ‚Teilbaukästen‘ (TBK) [25]. An der Gesamtentwicklung waren einzelne Herstellerwerke wesentlich durch eigene Forschungen und Entwicklungen beteiligt, seltener auch die Zentrale in Leipzig [26].

Zugleich boten Repräsentationsbauten, wie der Fernsehturm (1969) und der Palast der Republik (1976) in Berlin, dem MLK die Gelegenheit, sich Staat und Partei als staatstragendes Kombinat anzudienen [27]. Obwohl größtes Prestigeobjekt in der Geschichte des MLK, endeten mit dem „Palast der Republik“ die Ingenieurträume von gigantischen Metalleichtbauten der Anfangszeit. Vielmehr schlug das Kombinat die Traditionslinie des alten Stahlbaus ein, wie etwa das Neue Gewandhaus in Leipzig (1981) beweist.

### 2.3 Vom Alltag zum Exportieren

Das Produktionsprofil fast aller MLK-Werke bestimmte die großen Projekte aus dem Bereich der Industrie. Anlagen wie Leuna Nord, das Kernkraftwerk in Lubmin, Kraftwerksausbauten wie Hagenwerder, Boxberg und Jänschwalde kamen bis Mitte der 1970er Jahre zur Ausführung. Die Planziele erfüllte man offiziell immer, so 1975 mit 104,1 Prozent, das ergab bei einem Gesamtergebnis von 342,8 Millionen Mark einen Reingewinn von über 21 Millionen Mark [28]. Das die bilanzierten Werte nur bedingt der Realität entsprachen, war allgemein bekannt. Im Falle des MLK lässt sich dies sehr schön anhand der mangelhaften Versorgung mit Walzstahl – neun Monate Vorbestellung, keine Reaktion auf plötzliche Kundenanfragen möglich – zeigen. Unabhängig von der Aussagekraft der Planzahlen lässt sich festhalten, dass es wesentliche technische Fortschritte gab, etwa die 1976 erfolgte Teilumstellung auf den Einsatz von korrosionsträgem Stahl (KTS). Man kam damit der Forderung der Neubearbeitung der TGL 31322 „Wirtschaftlicher Einsatz von Baustählen-Stahlmarkenauswahl“ nach [29]. Tatsächlich erreichte das Kombinat 1975 insgesamt eine vierprozentige Stahleinsparung [30]. Bis 1988 betrug der Umfang der Aufträge in das NSW 250.000 Tonnen Stahlhochbau [31].



Abb. 9: Leichter Fachwerkbinder mit Kaldach der Korrosionsschutzhalle des vormaligen Werkes Magdeburg des MLK. Foto: Volker Mende, 2022.

Der Umfang an Geschäftsbeziehungen mit dem NSW des MLK lässt sich am Beispiel des Werks Magdeburg aufzeigen. Zwischen 1978 und 1984 gab es 24 Partnerfirmen in der Bundesrepublik und in West-Berlin, Österreich und Dänemark [32].

## 2.4 Anpassungen und Suche nach neuen Lösungen

Die staatlich dirigierte Planung machte es dem MLK, während der Reformperiode gegründet und als neuer Wirtschaftszweig geradezu zu Innovationen verpflichtet, besonders schwer. Auch wenn man bis 1989 versuchte, diesem Anspruch zu genügen, kam man zunehmend an seine Grenzen. So setzte die MLK-Zentrale die Abschreibungssätze von sechs auf zehn bis zwölf Jahre nach oben [33]. Nichtsdestoweniger hatte das MLK während des ersten Jahrzehnts seines Bestehens beachtliche Leistungen vollbracht. 27 Millionen Quadratmeter Metallleichtbaukonstruktionen und 900.000 Tonnen Stahlhochbaukonstruktionen sind errichtet worden [34]. Dies sind natürlich reine Bilanzzahlen, die keine Aussage über die tatsächliche Befriedigung der inländischen Bedürfnisse von Landwirtschaft und Industrie an leichten Stahlbauten zulassen.

Im April 1979 musste Generaldirektor Mielsch zu einer „Grundlagenberatung zur weiteren Vervollkommnung der zentralen Leitung und Planung des Bauwesens in Verbindung mit der Erhöhung der Eigenverantwortung der Kombinate“ nach Berlin reisen [35]. Man verlangte vom MLK einen Zuwachs der Exporte in das NSW um 176,5 Prozent. Am 22. 10. 1980 dozierten Bauminister Junker und der Leiter der Abt. Bauwesen im ZK der SED, G. Trölitich, im Werk Plauen über Rationalisierung im Metallleichtbau. Ingenieurwissenschaftlich-technischen Handlungsspielraum hatte das Kombinat nicht mehr, es mutierte zum direkten Befehlsempfänger nach utopischen Vorgaben des Ministeriums [36].

Nach außen verkaufte sich das MLK als Teil der Erfolgsgeschichte der Automatisierung des Metallleichtbauproduktion. In der Realität zeigte sich jedoch ein anderes Bild. Es gab massive Produktionsschwierigkeiten, technische Probleme, Ausfallstunden von ein bis acht Stunden je Schicht, Qualitätsmängel und eine insgesamt pessimistische Stimmung unter den Arbeitern [37]. Ein Stasi-IM analysierte schon 1983 ganz offen, dass mit der im Jahr zuvor in Kraft getretenen Walzstahlanordnung „mit Ausnahme des Exporterzeugnisses Rahmenhalle 80 und den Stahlkonstruktionen für Geflügelstallanlagen der Metallleichtbau für das MLK Werk Halle Geschichte“ sei [38]. Dazu passt das im November 1982 erlassene ministerielle „Stahlverwendungsverbot für Kaufhallen“. In Neubaugebieten konnte fortan auf normalem Wege über Bilanzierung keine Kaufhalle mehr errichtet werden [39].

In den 1980er Jahren ging die Effektivität aufgrund der hohen Individualfertigung drastisch zurück. Priorität hatte der Export in das NSW, dessen Anteil auf mehr als 50 Prozent der Produktion und rund 75 bis 80 Prozent der Erlöse anstieg. Folge war ein kaum aufzuholender Rückstand bezüglich der für das Inland vorgesehenen Produktion [40]. Neben den anderen sozialistischen Staaten, insbesondere Polen und der UdSSR, traten seit Mitte der 1970er Jahre aufwändige Projekte in Ländern der arabischen Welt und des Nahen Osten, in Kuba und in den 1980er Jahren auch den Golfstaaten hinzu. Die verstärkte Hinwendung zum Export hatte auch für die Angebotspalette drastische Folgen. Um weiterhin am internationalen Markt konkurrenzfähig zu bleiben, sah sich das MLK zu einem Wechsel von leichten Hallenkonstruktionen hin zu oberflächenbehandelten Vollprofilen wie dem ‚Rahmen 80‘ gezwungen.

Auf Weisung des Bauministeriums konnten zudem ab 1983 keine Raumtragwerke mehr gefertigt werden, womit auch die Bemühungen scheiterten, Stahlleichtbauten mit einer statisch mitwirkenden Scheibe aus EKOTAL-Blech zu verwenden. Anstelle des Einsatzes der, den Metallleichtbau wesentlich ausmachenden, kaltverformten Profilstähle sollte nun das pfettenlose Verbunddach mit Stahlbetonkassettenplatten zur allseitigen Anwendung im Inland gelangen [41].

Die endgültige Wende vom Metallleichtbau hin zum konventionellen Stahlbau und Kraftwerksstahlbau war vollzogen. Trotz dieser Maßnahmen, einer Kostensparinitiative und Bilanzierungsmanipulationen, stürzte der Exporterlös des MLK bereits 1988 auf ein Minus von 18 Mill. Mark bei zugleich drastisch steigenden Produktionskosten [42]. Die Bilanz des MLK hatte sich mit der Fokussierung auf den

alleinigen Primat der Erwirtschaftung von Devisen finanziell schlicht überreizt. So endete das mit großen Zielen gestartete MLK nicht allein ökonomisch, sondern auch juristisch unspektakulär am 30.06.1990.



*Abb. 10: Mit dem Exportprodukt ‚Rahmen 80‘ konnte das MLK Anschluss an die internationale Entwicklung nehmen. Um so bedeutsamer ist dieser einmalige Fund einer ‚R 80‘-Halle im Inland, welche 1988 für ein Agrochemisches Zentrum nahe Lutherstadt-Wittenberg errichtet wurde. Foto: Volker Mende, 2024.*



*Abb. 11: Ebenfalls für den Export, daher im Inland in höchstem Maße selten, wurde das ‚Unterspannte Blechdach‘ entworfen. Die EKOTAL-Dachhaut ist unter Spannung auf die leichten Binder geschraubt und wirkt als Obergurtscheibe. Hier ein Exemplar in Cottbus. Foto: Volker Mende, 2023.*

### **3. Bestandsbauten und Nutzungsperspektiven**

Stahlleichtbauten aus dem Portfolio des MLK bestimmten und bestimmen das Bild der Bauwerke im Industrie- und Landwirtschaftsbau, bei Sporthallen sowie leichten Mehrgeschossern in den neuen Bundesländern mit. Wesentliche Charakteristik ist das getypte Tragwerk und seine zunehmend

feuerverzinkte Oberfläche. Ab 1974 prägte dann, mit dem Einsatz von bandverzinktem und farbbeschichtetem EKOTAL-Band, auch eine neue Hüllen- und Dachgestalt die Bauten. Um Schweißstöße auf der Baustelle zu vermeiden, wurden vorgefertigte Segmente verschraubt. Mit dem Bolzenbinderdach ging man sogar soweit, dass dieses Exportprodukt von ungelerten Arbeitern mittels Gelenkbolzen montiert werden konnte. Solche filigranen Tragwerke finden sich in Ostdeutschland heute so gut wie gar nicht, sie waren exportiert worden.

### 3.1 Eingeschossige Bauten für die Industrie

Der Fokus des MLK lag bei standardisierten Hallenbauten ursprünglich nicht auf Komplettbauten. Zunehmend forderten dies jedoch die Auftraggeber. Einzelne Werke erhielten gezielte Spezialisierungen für standardisierte Bauten und dafür geeignete automatisierte Fertigungslinien [43]. Ein getypter Hallenbau des ›VEB MLK‹ ist der ›TBK 6000‹ (TeilBauKasten mit Achsabstand 6000 mm). Dieser Hallentyp war Teil eines Baukastensystems, indem sich die komplette Konstruktion von Fassade über Dachtragwerk bis zur Stützenvariante zusammenstellen ließ [44]. Die Dachneigung variierte zwischen 5% und 10% und wurde als Satteldach über die Obergurtform ausgeführt [45]. Der Hallentyp wird heute noch infolge der Vollverzinkung und der unproblematischen Obergurtauflagerung gern genutzt.



*Abb. 12 und 13: Diese Halle in Mittweida weist das außerordentlich seltene Raumtragwerk ‚Typ Plauen‘ auf, hier jedoch schon die Weiterentwicklung mit ausgekreuzter Querverstrebung zwischen den Obergurten. Foto: Volker Mende, 2023.*

Bald hatte sich die Überspannung von Hallenbauten mit 12, 18 und 24 Metern Systembreite mittels Stahlfachwerkbindern mit abgestuftem 6-m-Stützen-Raster als alltagstaugliches Fachwerkbindersystem etabliert. Geteilt gefertigt, konnte man sie zudem in der MLK-eigenen Feuerverzinkerei in Calbe/Saale verzinken. Um 1968 verwendete man bei 18- und 24-m-Bindern sogar noch Rohrstähle als geschweißte Streben, die man farbkonservieren musste. Dieser Bindertyp kam vor allem bei typisierten Kartoffellagerhäusern (1. Entwicklungsstufe) zum Einsatz. Aus den 1970ern finden wir heute vor allem die verstärkte Fachwerkvariante aus kaltverformten Profilen mit Betonkassettendach als schubsteife Platte. Daher ist es auch heute unproblematisch, hier die Dachwärmedämmung auszutauschen oder diese zu erleichtern und mittels Nachrechnung mit PV-Anlagen auszustatten. Kombinierte man diese Binder zu einem Dreigurtsystem, entstand 1974 das "Raumtragwerk Plauen". Nun brauchte man aber einen hohen Fachwerk-Traufriegel. Als positiver Effekt stellte sich ein, dass man alle, nicht der Kranbahn zugehörigen Teile feuerverzinken konnte. Jedoch: Bislang sind nur zwei Industriehallen bekannt geworden, welche dieses Raumtragwerk aufweisen.

Unter den hallenartigen Bauten treten die Rahmenträger Plauen I und Plauen II noch heute zu hunderten auf. Der Hohlkastenbinder Plauen I entstand in den späten 1960er Jahren aus dem Zwang heraus, die in der DDR kaum vorhandenen, schweren IP / IPE-Profile ersetzen zu müssen [46]. Der aus zwei U-Profilen und zwei gesickten Stegblechen geschweißte Kasten, mit oder ohne angeschweißte Kranbahnkonsole, war hochoptimiert und leicht zu montieren.

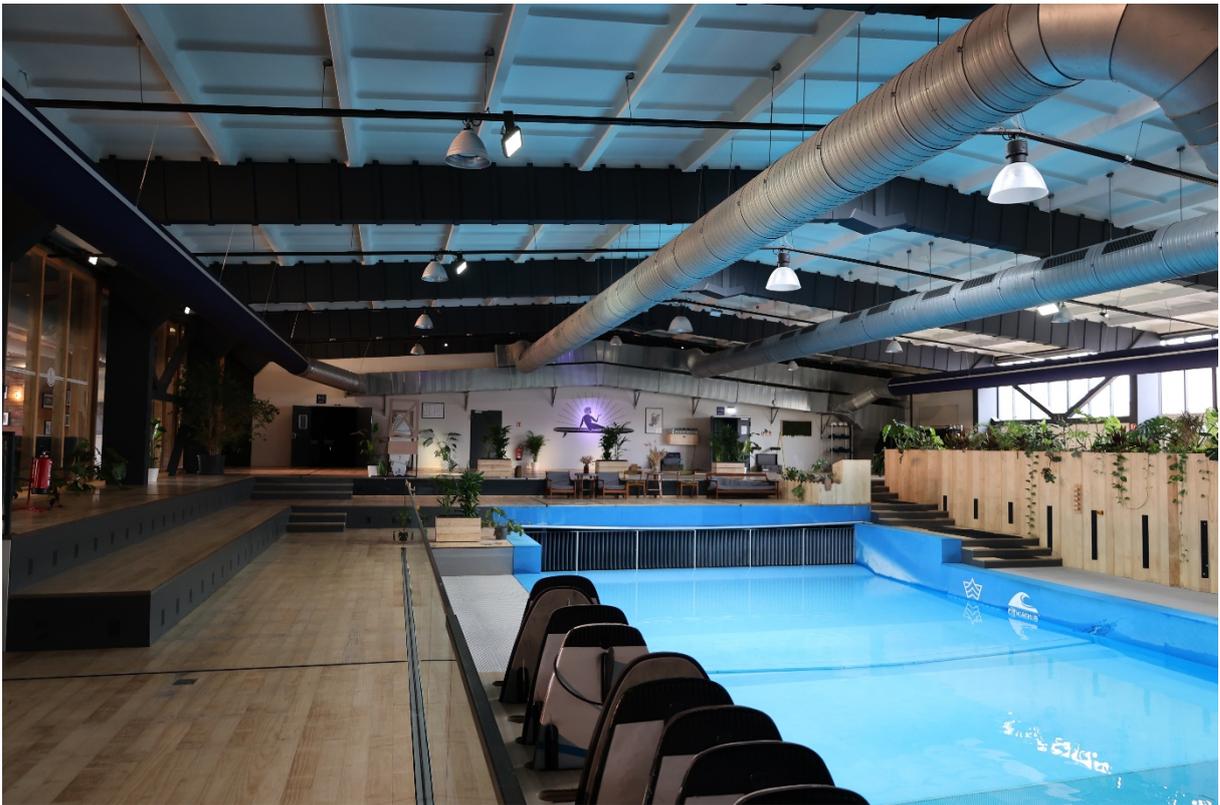


Abb. 14: Unverkennbar ist der ‚Rahmenbinder I‘, auch ‚Plauen I‘ genannt, deutlich sind die Längssicken erkennbar, hier in Burg bei Magdeburg. Foto: Volker Mende, 2023.



Abb. 15: Mit seinem klaren Mittelsteg ist der ‚Rahmenbinder II‘, auch ‚Plauen II‘ deutlich von seinem Vorgänger zu unterscheiden, diese Variante als Warmdach mit pfettenlosem Verbunddach nutzt ein mittelständischer Betrieb in Freiberg. Foto: Volker Mende, 2021.

Leicht abgewandelt, nun nur noch ein Stegblech zwischen U-förmigen Walzstahlgurten, ist der um 1978/79 entstandene Plauen II noch schlichter und leichter als sein Vorläufer. Vollwandrahmenhallen des MLK sind noch heute allgemein in Nutzung und können nach Austausch der Dachhülle und Fallrohre unproblematisch weitergenutzt werden [47]. Einen einmaligen Fall stellt der Umbau einer Plauen I – Halle als Surferparadies in Berlin dar.



*Abb. 16: Neue Ideen für eine alte Rahmenhalle in Berlin-Lichtenberg, hier kann auf Europa's größter Indoor-Welle unter fachkundiger Leitung gesurft werden. Foto: Volker Mende, 2023.*

Mit dem „Rahmen 80“ passte man sich an die mangelhafte Exporteignung der bisher angebotenen Fachwerk- und Rahmenkonstruktionen an. Vor allem im arabischen Raum wurden einfache, schlanke IP-Profile nachgefragt [48]. Mit dem Entwurf begann man 1975 [49]. Nach 1983 durften im Inland Vollwandbinder aus Walzprofilen oder geschweißten IPE-Profilen ohne Sondergenehmigung gar nicht mehr eingesetzt werden [50]. So verwundert schon, dass wir eine R 80 bei Lutherstadt-Wittenberg entdeckten, welche 1988 montiert worden war und reguläre Baupapiere aufweist! Das MLK fertigte diese Parallelflanschträger auf vollautomatisierten Schweißstraßen.

### 3.2 Landwirtschaftsbauten

Im Bereich des Landwirtschaftsbaues wurden in erster Linie Stallanlagen und Gewächshäuser auf Fertigungsstraßen produziert. Besonders für Schweine- und Rinderställe lag eine große Nachfrage vor, da die Regierung der DDR die Landwirtschaftsbetriebe zu staatlichen Großbetrieben umgeformt hatte. Insbesondere die wärmegeprägten Rinderställe bereiten einige Schwierigkeiten im Hinblick auf den Korrosionsschutz. Deshalb wurde ein komplizierter Strebenfachwerkbinder auf Stahlbetonstützen später durch einen unterspannten Binder mit Vollprofil ersetzt. Eine Verzinkung war in dieser Umgebung unangebracht. In der Gewächshausproduktion im Werk Dresden behielt man bis zum Ende feuerverzinkte Stahltragwerke bei. Die verschiedenen, immer effektiver konstruierten Tragwerke der Häuser bieten heute bei guter Wartung kein Problem, Pflanzenzucht- und -Pfleger durchzuführen. Eher sind es überdimensionierte Flächen und ungedämmte Gläser, welche heute die Nutzeffektivität einschränken. Leichte Dächer konnte man auch bei Unterstellhallen für Landwirtschaftstechnik sowie Lagerhallen für Getreide und Stroh anwenden. Dabei gibt es durchaus eine Entwicklung vom kleingliedrigen Parallelfachwerk mit Farbkonserverung hin zum aufgelösten, räumlichen Fachwerk mit kaltverformten, feuerverzinkten Profilen. Diese Systeme hatten den Vorteil, auf Stahl- oder Stahlbetonstützen beliebiger Höhe aufgelegt werden zu können. Der radikalste Schritt war die Entwicklung des Unterspannten Blechdaches, welches die EKOTAL-Dachhaut zugleich als mitwirkende Scheibe verwendet. Dieser Hallentyp ist in erster Linie durch Anprallschäden von Radladern in der Untergurtebene gefährdet.



Abb. 17: An der Großgewächshausanlage in Radebeul kann man fast die gesamte Entwicklung der Gewächshausstypen der DDR studieren, rechts das ,TG 10' mit Isolierglasscheiben. Foto: Volker Mende, 2023.

Diese Gefahr droht ebenfalls der leichten Lagerhalle vom Typ Cottbus, die eine nach heutigen Maßstäben zu geringe Bauhöhe und einen tief hängenden Untergurtspannstab aufweist.



Abb. 18: Halboffene Strobergehalle im Elbsandsteingebirge, extrem verschlanktes Dreigurttragwerk mit EKOTAL-Deckung. Foto: Volker Mende, 2023.

Die zu Ende der 1970er Jahren entwickelten, typisierten Großkühlhäuser in Stahlleichtbauweise entwickelte man ständig weiter und passte sie in Konstruktion und Isolierung an die zunehmenden Forderungen der Kunden, in erster Linie sei hier die UdSSR genannt, an. Bei einem Kartoffellagerhaus ist neben dem Dachtragwerk sogar das gesamte Stützensystem verzinkt. Da man damals die Beschickung der Lagerboxen noch mittels eines ausgeklügelten Förderbandensystems vornahm, fiel eine wesentlichen Beschädigungsquelle der heutigen Zeit weg. Denn heutzutage stellen in Lager- und Fabrikbauten Radlader und Gabelstapler eine wesentliche Gefahrenquelle für die Stützen dar. Nicht allein Verformungen, schon kleinste Abplatzungen an der Verzinkungsschicht können zum Freilegen des Stahles führen. Natürlich ist bei den Lebensmittel-Kühlhäusern auch der hygienische Effekt der Verzinkung gegenüber Farbkonservierungen zu berücksichtigen. Da heute die Kühlketten für die Hühnereierproduktion von den historischen abweichen, werden die dafür genutzten Kühlhäuser häufig als normale Logistikflächen genutzt.



Abb. 19: Diese leichte Landwirtschaftshalle ‚Typ Cottbus‘ mit unterspanntem Vollprofilträger ist nahe von Freiberg in Nutzung. Foto: Volker Mende, 2023.

### 3.3 Mehrgeschossige Bauten

Das Mehrzweckgebäude ‚Typ Berlin‘ wurde als ein-, zwei- und dreigeschossiges Gebäude ausgeführt und konnte sowohl als Bürogebäude, Wohnheim oder auch als Kindergarten ausgebaut werden. Beworben wurde der Typenbau mit geringen Liefer- und Montagezeiten sowie der Komplettlieferung, welche auch die gewünschte Einrichtung, Balkone und Außentreppe beinhalten konnte [51].



Abb. 20: Mehrgeschossiger ‚Typ Berlin‘ konnten in Längsanordnung mit Brandwand gebaut werden. Diese zweigeschossige Variante dient als Imbiss in Magdeburg. Foto: Volker Mende, 2022.

Die Ausführungslänge des Mehrzweckgebäudes beträgt 40 m und ließ sich durch Doppelung des Gebäudes und Anordnung einer Dehnungsfuge/Brandwand auf bis zu 80 m erweitern. Der Gebäudetyp ist ca. 12 m breit und die einzelnen Geschosse sind 2,5 m hoch [52].

Es ist der auch heute noch mit Abstand am häufigsten vorkommende Mehrgeschosser in den östlichen Bundesländern. Die Varianten waren vielfältig. Hier waren Arbeiterrestaurants, Bowlingbahnen, Heizhäuser, Archivkeller oder Atomschutzbunker angeordnet. Geradezu klassisch war die Verwendung als "Übergangs"-Bürohaus, als Hochschullehrgebäude oder auch als Unterkunft für Lehrlinge oder ausländische Arbeitskräfte. Wir finden den Typ heute sowohl als Verwaltungsgebäude, Bürohaus, Kinderferienlagerunterkunft, Wohnhaus, ja sogar als Sitz eines sächsischen Landesamtes vor.



Abb. 21: Als Dreigeschosser mit Sockel, in welchem sich ABC-Schutzräume befinden, dient dieser Baukomplex des ‚Typ Berlin‘ einer Behörde in Freiberg. Foto: Volker Mende, 2022.



Abb. 22: Der Klassiker unter den Mehrgeschossern ist der ‚Typ Leipzig‘. Hier in der Variante als Berufsschule der Berliner Wasserwerke. Bestandsgefahr geht hier von einem unmotivierten Prüfbericht aus. Foto: Volker Mende, 2021.



*Abb. 23: Hüllensaniertes ‚Typ Leipzig‘, vormals vom Schweinemastkombinat Eberswalde. Das Beispiel beweist die Tauglichkeit der Konstruktion zur Weiternutzung. Foto: Volker Mende, 2022.*

Der Versuch, einen Mehrgeschosser mit verstärkten Decken für Industrienutzung herzustellen, kam nicht zur Massen Anwendung. Es gelang zwar, das System beim CENTRUM-Warenhaus in Magdeburg 1973 erstmals anzuwenden, erlag aber letztendlich dem Konkurrenzdruck der Stahlbeton-Riegel-Bauweisen. Wesentlich erfolgreicher, die Quellen sprechen von allein in der VR Polen errichteten 120 Objekten, war der fünf- oder sechsgeschossige Stahlskeletttyp "Leipzig". Mit 72 x 13 m und seinen markanten, farbigen Vorhangfassaden prägte und prägt er heute noch ganze Stadtgebiete architektonisch (Radebeul). Das Fassadenmaterial wechselte jedoch. Sah man anfangs emaillebeschichtete Blechtafeln vor, setzte man später EKOTAL-Platten und letztendlich koloriertes Einscheibensicherheitsglas ein. Mit intelligenten Ingenieurlösungen sind etliche dieser Bauten heute weiterverwendbar. Während man in Polen häufig bis auf das Tragwerk zurückbaut und neue Hüllen implementiert, werden die ostdeutschen Objekte meist behutsamer und substanzschonender behandelt. Das geht vom teilweisen Geschossrückbau (Hochschule Mittweida) über vollständigen Hüllentausch (Eberswalde, Berlin) bis hin zur nur innen stattfindenden Nutzungsanpassung (Berlin, Leipzig, Markkleeberg) und reinen Weiternutzung (Dippoldiswalde, Knautnaundorf). Eine polnische Studienarbeit bringt sogar die Umnutzung in eine reine Wohnnutzung ins Gespräch [53] Erst jahrzehntelanger Leerstand führt zu der (gewollten?) Situation, dass ein solch' architektonisch bedeutendes Bauwerk letztlich keine Überlebenschance mehr hat (Eberswalde-Finow). Nicht unerwähnt muß bleiben, daß die Vorhangfassadenelemente aus dem MLK-Werk Blankenburg/Harz auch an typisierten Stahlbetonskelettbauten zur Anwendung kamen. Diese können eingeschossig (Dippoldiswalde), mehrgeschossig (Polikliniken Magdeburg und Berlin) oder vielgeschossig sein (Verwaltungsbauten der FORUM-GmbH Berlin).

### **3.4 Gesellschaftsbau: Beispiel Sportbauten**

Insgesamt war und blieb die Entwicklung der Verwendung von leichten Stahltragwerken mittlerer Spannweite in der DDR von Initiativen und Innovationen, jedoch auch von Unwägbarkeiten und Wechselfällen abhängig [54]. Im Bereich der standardisierten Gesellschaftsbauten wurden etliche getypte Kaufhallen, Sporthallen und Kindergärten in Varianten angeboten. Die Produkte dieser Sparten wurden in unterschiedlichen Größen gefertigt, um für sowohl den ländlichen Raum als auch die Stadtgebiete Produkte anbieten zu können [55].

Sehr umfangreich ist vom MLK die Sparte der Sportbauten bearbeitet worden, wobei dafür innerhalb der Kombinatleitung zeitweilig ein leitender Ingenieur koordinierend verantwortlich war. Man hatte Mitte der 1970er Jahre bereits zwei großen Sporthallen-Typen mit Raumtragwerk "Weimar" entwickelt und gebaut, die GT 60 L und GT 120 L.



Abb. 24: Ein architektonischer Markstein des Uni-Campus von Magdeburg ist die vollständig instandgesetzte Sporthalle ‚GT 60 L‘. Foto: Volker Mende, 2022.

Der Stabrost „Typ Weimar“ enthielt den sog. Weimar-Knoten. Dieser war, wie ein Zeitzeuge eindeutig feststellt, eine gezielte Umgehung des Patentanspruches des bundesdeutschen „MERO“-Knotens. Letztendlich entschied das Bauministerium, den kostenintensiven Weimar-Knoten auszumustern. Modernisierungen, wie etwa die Universitätssporthallen Magdeburg und Weimar, beweisen die dauerhafte Einsatzfähigkeit bis in die Gegenwart. Letztlich machte es sich somit doch bezahlt, dass man die Stahlbaumordnung der TGL ab den 1970er Jahren wieder an die DIN annäherte.



Abb. 25 und 26: Die Sporthalle in der Leipziger Brüderstraße ist eines der wenigen Exemplare des Typs ‚RGW‘. Mit Anbauten ergänzt heute eine beliebte Ballsportthalle. Das Tragwerk ist ein ‚RTR‘-Dreigurtbinde und ist in vier vorgefertigten Segmenten auf die Stützen gesetzt worden. Foto: Volker Mende, 2022.

Mit einem zeitlichen Vorläufer und abweichender Dachgestalt (Comeniushalle Plauen) entstand ab 1979 die sogenannte „RGW-Sporthalle“ in der Leipziger Brüderstraße. Das Dachtragwerk, ein gewaltiger dreigurtiger Stabrost, ist dem Typ RTR (Raumtragwerk Ruhland) zuzuordnen. Der übermannshohen Stabrost der Halle wird aus vier Raumtragwerkssegmenten gebildet. Sie wurden am Boden vormontiert und mit Dachhaut auf die eingespannten Stahlstützen gehoben. Der Traufriegel wirkt als Durchlaufträger über drei Stützen. Die in Schweißlehren gefertigten, aufwendigen Knoten trugen zu einer Verteuerung des Types bei. Letztlich blieb es neben einem weiteren Objekt in der VR Polen bei sehr wenigen Exemplaren, was nicht unbedingt für die Anwenderfreundlichkeit dieser, in Kooperation mit mehreren RGW-Ländern entwickelten, Großsporthalle spricht.

Die Netzwerktonne setzt sich aus Rundstäben mit aufgeschweißter Kopplungsfahne zusammen, welche auf einem mobilen Gerüst zusammengeschaubt wurde. Dafür hatte man eine halbautomatische Schweißstraße konstruiert, welche so effektiv fertigte, dass man schon um 1970 gar nicht mehr wusste, wohin mit den fertigen Stäben.



*Abb. 27: Grundbaustein der Sporthalle KT 60 L ist dieser Lagerhallentyp ‚Ruhland‘, eine Stabnetzwerktonne, hier in Magdeburg. Foto: Volker Mende, 2022.*

Ganz anders als diese Kleinserie verlief die Karriere der Kleinfeldsporthalle KT 60 L. Hervorgegangen aus der Stabnetztonne Ruhland, eigentlich einer kreisbogenausschnittförmigen Lagerhalle für die Industrie, und mit seitlichen Anbauten versehen, ist dieser Sporthallentyp die alltagstauglichste, häufigste und heute noch meistbespielte MLK-Sporthalle.



*Abb. 29 und 30: Kleinsporthalle ‚KT 60 L‘, hier in Magdeburg-Rothensee. Durch Gefälleumkehr der Flächenanbauten ist um das Jahr 2000 die anfällige Innenkehle vermieden worden. Die Stabnetzwerktonne im Inneren ist gut erhalten. Foto: Volker Mende, 2022.*

Der Absatz der Hallen stagnierte, die Fertigung musste zurückgefahren werden, obschon der Schweißautomat anfangs die Fahnen nicht vollständig "sah" und man in Handschweißung nacharbeiten musste. Natürlich wurde dieses Desaster sowohl intern als auch gegenüber Partei und Staat verschwiegen. Dem MfS jedoch blieb das Chaos im Werk Hosena nicht verborgen. Erst als planerischer Vorlauf existierte, konnten hunderte dieser Sporthallen abgesetzt werden. Die Hallen sind heute vielfach in Nutzung und bieten energetisch optimierte, ideale Sportflächen für Unterrichtszwecke. Dem konstruktiven Manko, nämlich die innenliegende Dachentwässerung mit Schneesackbildung, kann entweder durch Neigungs-umkehr (Bad Freienwalde, Magdeburg-Rothensee) oder durch Anordnung der Heizstrahler parallel zur Kehle (Magdeburg Freie Waldorfschule) abgeholfen werden. Mittlerweile werden diese Tonnen sogar demontiert und eingelagert, um sie einer Wiederverwendung in konstruktiv anderer Form zuführen zu können. Hier ist die Stadt Leipzig mit einem Planungsstab in der Vorreiterrolle. Damit kommen wir zum letzten Abschnitt.

#### 4. Translozierungen

Translozierungen von Stahlleichtbauten, also Demontage, Umsetzung und Wiederaufbau, sind ein erst junges Feld in Theorie und Praxis. Was sich für die sogenannten Norm- oder Systemhallen westdeutscher Hersteller infolge der DIN-Kompatibilität sogar auf dem Internetmarkt als Realität darstellt, ist für Bauherren einer Typenhalle aus der DDR eine Herausforderung. Denn genau deshalb, weil sie getypt sind, haben die Bauherren selten oder nie vollständige Konstruktionsunterlagen und Statiken erhalten, es galt die Typenzulassung der Staatlichen Bauaufsicht. Stahlqualität, Verbindungsmittel und Lastannahmen müssen mühselig über Spezialbüros beschafft und nachgerechnet werden. Aber: Es geht! Zwei Beispiele mögen das illustrieren.

Kurz nach 1990 ist bei der Auflösung des Schweinemastkombinates Eberswalde eine fertige, aber nie belegte Masthalle demontiert worden. Der bei Landwirtschaftsbauten häufig angewandte, unterspannte Vollwandbinder mit Stützbock konnte problemlos demontiert werden. Dach und Wandsteine ebenfalls. In einem nahegelegenen Landwirtschaftsbetrieb ist die Halle auf vorbereitetem Fundament umgehend wiederaufgestellt worden. Nach Eigentümerwechsel dient sie heute als Unterstellhalle.

In einem weiteren Fall konnte unser Forschungsteam einen Magdeburger Halleneigentümer von der Demontagefähigkeit seiner Halle überzeugen. Sie zeichnet sich durch eine, für schlichte Hallen des MLK ungewöhnliche Verwendung von KT-Stahl aus. Als "Fachwerkrahmen KTS" ist diese in der Werbung für den Export bekannt. Der Bauherr demontierte die Al-PUR-Dachdeckung in transportfähige Teile und transportierte auch die Gassilikatbetonaußenwandelemente sorgsam ab. Der Rückbau des Tragwerkes erfolgte stab- und binderweise. Kein Element des 4-teiligen Binders war länger als neun Meter, wobei sich die HV-Schrauben problemlos lösen ließen. Die Teile lagern, mit Codierung versehen, bis zum Wiederaufbau ein. Eine studentische Arbeit an der TU Braunschweig konnte aufzeigen, dass auch unter Berücksichtigung der gültigen DIN dieses Tragwerk mit deutlichen Reserven ausgestattet und ein Wiederaufbau rechnerisch möglich ist [56].



*Abb. 30: In Magdeburg ist 2023 diese ‚Fachwerkrahmenhalle KTS‘ demontiert und eingelagert worden. Vor und während des Rückbaus hat unser Projekt das Bauwerk fotografisch dokumentiert. Der korrosionsträge Stahl ist 1983 bauzeitlich grau gefasst worden, die weinrote Fassung stammt von nach 1990. Foto: Volker Mende, 2022.*

#### 5. Zusammenfassung

Stahlleichtbauten aus dem "VEB Metalleichtbaukombinat" der DDR entstanden, aufbauend auf Vorläufermodellen, als meist getypte Bauwerke von hoher Effizienz und in großer Anzahl zwischen 1969 und 1990. Zu unterscheiden ist dabei die Trennung zwischen einfachen Inlandstypen und speziell für den

Export entwickelten, weltmarktauglichen Typen und Individualbauten. Ihr hoher Vorfertigungsgrad, die leichte Transportierbarkeit der Elemente und der hohe Verzinkungsgrad führen dazu, dass in erster Linie die hallenartigen Bauten noch heute voll genutzt werden können. Bei mehrgeschossigen Bauten ist aufgrund rapider Änderungen der Zulassungsbedingungen gegenüber der Entstehungszeit der Wiederverwendungsgrad nicht so günstig. Dennoch kommt es hier immer auf die spezielle Situation und den Nutzungsanspruch an, ob diese Bauwerke eine Lebensdauerverlängerung erhalten können oder nicht. Positive Beispiele gibt es genug [57].

## 6. Danksagung

Unser Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen an den TU Braunschweig und Bergakademie Freiberg sowie in der Koordinierung des DFG-SPP an der TU Cottbus-Senftenberg. Wir sind allen Zeitzeugen, Archiven und Hinweisgebern, Bauherren und Objekteigentümern für ihre allseitige Unterstützung unserer Forschungen außerordentlich dankbar.

## 7. Quellen

- [1] Nicht separat nachgewiesene Textstellen basieren auf unserem nichtpublizierten DFG-SPP Abschlußbericht. Einzelne Aussagen sind entnommen aus: BENZ, Andreas und MENDE, Volker: Der VEB Metalleichtbaukombinat: Stahlbau zwischen Planwirtschaft und Weltmarkt. In: Kultur und Technik, 2024, im Druck.
- [2] Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Proj.-Nr. 442249990; <https://kulturerbe-konstruktion.de/spp-2255-teilprojekt/stahl-und-metalleichtbau-in-der-ddr-c4/>.
- [3] HÄNSEL, Jessica, Industriearchitektur der DDR: die Arbeit der VEB Industrieprojektierung, TU Berlin-Diss., 2021.
- [4] BENZ, Andreas, MENDE, Volker, 2024 [wie 1]. Auf diesem Manuskript beruht die hier vorgestellte historische Gliederung.
- [5] HEINRICH, Annkathrin und MENDE, Volker: Zink im Hochbau der DDR. In: Industriekultur. 2023, 99(2), S. 22-23; WEISER, Robby: Materielle Leichtigkeit. Leichtbau im Stahlhochbau der DDR - der Porenbeton, 2022, TU Braunschweig, Inst. f. Stahlbau.
- [6] HEINRICH, Annkathrin et al.: Typ Berlin und TBK 6000: Bautechnikgeschichtliche Betrachtung von Typenstahlbau der DDR. In: GESELLSCHAFT FÜR BAUTECHNIKGESCHICHTE: Berichte aus Forschung und Praxis der Bautechnikgeschichte. Berlin.
- [7] ALBRECHT, Helmuth, BENZ, Andreas und MENDE, Volker: Großes Bauen, ganz klein: Die Modelle des VEB Metalleichtbaukombinats und das SPP-DFG-Projekt "Stahl- und Metalleichtbau in der DDR. ACAMONTA, 2022, 29, S. 145-147; BENZ, Andreas und MENDE, Volker: Ein Skelett erzählt Stahlbaugeschicht: Das Konstruktionsmodell des „Palast der Republik“ im Bestand der Kustodie der TU Bergakademie Freiberg. In: ACAMONTA, 2023, 30, S. 90-91.
- [8] MENDE, Volker et al.: Stahlleichtbauhallen der DDR mit Geschichte und Perspektive: Ein Bericht aus dem DFG-Schwerpunktprogramm „Kulturerbe Konstruktion“. STAHLBAU. 2023, 92 (7), S. 398-406. DOI 10.1002/stab.202300022.
- [9] Pressemappe vom 08.03.1971; SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 14.
- [10] Bundesarchiv Berlin (BA), DH 1/22205.
- [11] DANIEL, Hans-Dieter, Organisation des bautechnischen und förderotechnischen Stahlbaus in der [SBZ/DDR, 2022, (unpubliziertes Manuskript).
- [12] Beratungsprotokoll 1959; BA Berlin, DH 2/Plan 5479.
- [13] Sitzungsprotokoll, Nachlass C 101 (W. Bartel); IRS Erkner, Kiste 2.
- [14] STEINER, André: Von Plan zu Plan – Eine Wirtschaftsgeschichte der DDR, München 2004, S. 130f.
- [15] SäSTA Leipzig, Best. VEB Eisenbau Leipzig, Nr. 464.
- [16] Ministerratsvorlage „Bildung einer Stahlbaukapazität im Bauwesen“; IRS Erkner, C 101, Kiste 2.
- [17] KÜHNERT, R., Leichter und ökonomischer bauen – Metalleichtbau, in: Deutsche Architektur 18, 1969, S. 148-150, 149.
- [18] SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 105.

- [19] Den gesamten Vorgang der Gründung des MLK beleuchtet der Schriftverkehr zwischen dem Bauminister und der Bauakademie; BA Berlin, DH 1/21330.
- [20] SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 15.
- [21] Ministerium für Bauwesen – Bauakademie der DDR (Hg:), Chronik Bauwesen Deutsche Demokratische Republik 1971- 1976, Berlin 1979, S. 113.
- [22] FELSER, Marie, Statische und konstruktive Untersuchung des Stabnetzwerkes Typ "Waren", Bachelorarbeit Technische Universität Braunschweig, 2022.
- [23] Ökonomisches Lexikon, L-Z, Berlin (Ost), 1967, S. 57.
- [24] SIEBER, Frieder, FRITSCHKE, Hans, Bauen in der DDR, Berlin 2006, S. 46.
- [25] Großbaukasten Mehrzweckgebäude von 1970; SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 14.
- [26] Studien der Werke Ruhland und Halle von 1973; SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 14.
- [27] Im Firmenkatalog 1985 sind beide Bauten jeweils unter den Kategorien Gesellschaftsbauten und Sonderbauten abgebildet; Stadt-Archiv Niesky, Slg. MLK.
- [28] Geschäftsbericht Kombinat für 1975; SäSTA Leipzig, Bestand 20875, Nr.5.
- [29] TGL: ursprünglich als "Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen" bezeichnet, nach 1966 aber nur noch symbolhaft für "DDR-Standards": Ökonomisches Lexikon, L-Z, Berlin (Ost), 1967, S. 816.
- [30] MLK-Forschungsinstitut, Jahresbericht 1975; SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 2.
- [31] UNGER, W., BÄUML, E., Der VEB Metalleichtbaukombinat – Ein gesuchter und geschätzter Partner auf dem internationalen Markt, in: Informationen des VEB MLK 27, 1988, S. 38-41, hier S. 39.
- [32] BArch, MfS, BV Magd, Abt. XVIII 773.
- [33] BArch, MfS, BV Halle, KD Halle, VIII 1236/81 T. 1, Bd. 2.
- [34] DANIEL, Hans-Dieter, Konstruktionen und Erzeugnisse des Metalleichtbaues für den Gesellschaftsbau, in: Bauzeitung 35, 1980, S. 248-251, hier S. 248.
- [35] 27.3.79, Telegramm an GD; SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 242.
- [36] SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 119.
- [37] BArch, MfS, BV Cottbus, AKG, 3216.
- [38] BArch, MfS, BV Halle, KD Halle, VIII 1519/81, Bd. 4.
- [39] BArch, MfS, BV Halle, KD Halle, VIII 1236/81 T. 1, Bd 2.
- [40] BArch, MfS, BV Ddn, KD Niesky, 6627.
- [41] BARTEL, Werner, Vortrag zur Gründung des Fachausschusses "Misch- und Verbundkonstruktionen in der Fachsektion Industriebau der Kammer der Technik, 8. 3. 1981, Bl. 33; IRS Erkner, C 101, NL Werner Bartel, Kiste 8.
- [42] Finanzielle Kennziffern per 31. 7. 1989, Anl. 2; StA Niesky, Slg MLK, Ordner Analysen-Kennziffern-übersichten (1988-1990).
- [43] JOHNE, Hans: Stahlbaubetriebe in der DDR am Beispiel des Metalleichtbaukombinats. In: Stahlbau 89 (2020), Heft 9, S. 741.
- [44] Eingeschossige Mehrzweckgebäude Baukastensystem Metalleichtbau/Mischbau, 1974, 6.1..
- [45] Werbeprospekt Fachwerkhalle TBK 6000, VEB Metalleichtbaukombinat, 1975.
- [46] Als Angebotsprojekt ist das Tragwerk erstmals nachweisbar im Januar 1968, siehe: SäSTA Leipzig, Best. 20875, Nr. 15.
- [47] Für eine Halle in Freiberg liegen, ein Ausnahmefall, beim Eigentümer die gesamten Planungen vor und konnten freundlicherweise von uns eingesehen werden.
- [48] RINK, H., SAMMET, H., Die Rahmenhalle 80 und die Faltrahmenhalle - zwei neue Erzeugnisse des VEB Metalleichtbaukombinat-Werk Halle, in: Informationen des VEB MLK 17 (1978) Heft 3/4. S. 50-51.
- [49] Geschäftsbericht des Forschungsinstitutes des MLK 1975, S. 3, SäSTA Leipzig, Best. 21689, Nr. 3.
- [50] Anordnung über die Verwendung von Walzstahlerzeugnissen im Hoch- und Tiefbau. Staatliche Einsatzbestimmungen; Gesetzblatt der DDR I, 1983 Nr. 2.
- [51] Werbeprospekt Mehrzweckgebäude Typ "Berlin", VEB Metalleichtbaukombinat (Stadtarchiv Niesky).
- [52] Informationen über Angebotserzeugnisse, Mehrzweckgebäude 2 geschossig, o.D., S. 12.

- [53] KIERCZ, Michał (TU Krakau): Rewitalizacja dziedzictwa architektury lat 70-tych xxw: Adaptacja Budynków Typu Lipsk w Dąbrowie Górniczej na mieszkania niskobudżetowe (Dt: Revitalisierung des Architekturbes der 1970er Jahre: Umwandlung von Typ Leipzig Gebäuden in Dąbrowa Górnicza in Wohnungen mit niedrigem Wohnungsbauniveau), Krakau, 2023.
- [54] MENDE, Volker et al., Stahlleichtbauhallen der DDR mit Geschichte und Perspektive. Ein Bericht aus dem DFG-Schwerpunktprogramm 'Kulturerbe Konstruktion', in: Stahlbau 92, 20, Nr. 7, S. 398-406; HEINRICH, Annkathrin et al.: Material lightness in steel building construction: Lightweight construction in the GDR. In: CONSTRUCTION HISTORY SOCIETY: Studies in Construction History, Tenth Annual CHS Conference Queens' College. Cambridge (UK), 2023, S. 607-619. ISSN 0992-8751.
- [55] 'Metalleichtbau der DDR.' Werbekatalog des MLK, VEB Metalleichtbaukombinat, S. 32-54 (Stadtarchiv Niesky); Katalog Montagen, VEB Metalleichtbaukombinat (Stadtarchiv Niesky).
- [56] BLODKAMP, Michael: Statische und konstruktive Untersuchung der „Fachwerkrahmenhalle KTS“, 2024, TU BS IS.

# Das neue Zeitalter des mobilen Schweißens



Schweißfachhandel

- erstklassige Schweißergebnisse
- hohe Energieeffizienz
- robustes Design
- einfache Bedienung



## Der Schweißfachhandel für Klugschweißer!

**Sowas ~~gibt's~~ ja noch gar nicht!  
gab's**



**Akkubetriebenes Schweißen  
überall und zu jeder Zeit**



**RENEGADE  
VOLT**

**LÄUFT IM AKKUBETRIEB  
ÜBER 30 ELEKTRODEN PRO LADUNG**

**LÄUFT MIT NETZSTROM  
120V / 230V EINGANGSSPANNUNG**

**POWER VON DEWALT FLEXVOLT  
STANDARD-ELEKTROWERKZEUG-AKKUS**

**Frank Smirnow (Service + Vermietung)**

☎ 03931 - 6492-11

✉ f.smirnow@ensslen-gmbh.de

**Detlef Jastram (Beratung + Vertrieb)**

☎ 0178 - 864 92 40

✉ d.jastram@ensslen-gmbh.de

**Henry Enßlen (Beratung + Vertrieb)**

☎ 0178 - 4612433

✉ h.ensslen@ensslen-gmbh.de



**Vertrieb**



**Service**



**Vermietung**



**Schweißfachhandel**

🏠 Daimlerstraße 6 • 39576 Stendal

☎ 0 39 31 - 64 920 🌐 [ensslen-gmbh.de/jobs](https://www.ensslen-gmbh.de/jobs)

## Baustähle aus China – Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser

J. Schuster, Halle

Die Volksrepublik China ist seit Anfang der 2000er Jahre mit Abstand der weltweit größte Stahlproduzent und Exporteur. So wird gegenwärtig über die Hälfte der Rohstahlproduktion in China erzeugt. Zeichneten sich in der nahen Vergangenheit Stahlimporte aus dem Reich der Mitte durch eine Reihe von qualitativen und handelspolitischen Problemen aus, ergibt sich die Frage, ob diese Werkstoffe zwischenzeitlich europäisches Qualitätsniveau erreicht haben. Aus diesem Grund sollen im Beitrag die aktuell gültigen chinesischen und europäischen Normen und die in ihnen enthaltenen Vorgaben für unlegierte Baustähle und Feinkornbaustähle miteinander verglichen und gegenübergestellt werden. Der Käufer und Anwender dieser Werkstoffe muss sich jedoch immer bewusst sein, dass es sich bei Stählen aus der Volksrepublik China um hochsubventionierte Produkte handelt, die den internationalen wirtschaftlichen Wettbewerb auf dem Stahlmarkt nachteilig negativ beeinflussen.

### 1. Einführung

Aus der Volksrepublik China importierte unlegierte Baustähle verfügen (auch) in Fachkreisen (nach wie vor) über einen schlechten Ruf. Oft werden diese Werkstoffe abschätzend als „produzierter Schrott“ bezeichnet, dessen einziger Vorteil sein niedriger, durch den chinesischen Staat hochsubventionierter Preis ist. Unterstützt wird diese Meinung durch bekanntgewordene Skandale in der nahen Vergangenheit. Waren es anfänglich ernsthafte Probleme mit der Qualität und vor allem der metallurgischen Reinheit unlegierter Baustähle, die schon bei dünnen Blechen ( $t < 10$  mm) und deren Beanspruchung in Dickenrichtung zur Entstehung von Lamellenrissen bzw. Terrassenbrüchen führten (Abb. 1 und 2, folgten zu Beginn der 2000er Jahre immer wiederkehrende Hinweise auf eine radioaktive Kontamination ausgewählter Chargen infolge mangelnder Qualitätssicherung bzw. Verantwortungslosigkeit im Erzeugungsprozess [1; 2]. Im gleichen Zeitraum wurden ebenfalls Manipulationen mit dem CE-Zeichen gemäß der EU-Verordnung 765/2008 [3] bekannt, die dem Anwender suggerierten, das Produkt erfülle die europäischen Qualitäts- und Sicherheitsvorschriften, was aber nicht immer der Fall war (Abb.en 3 und 4).

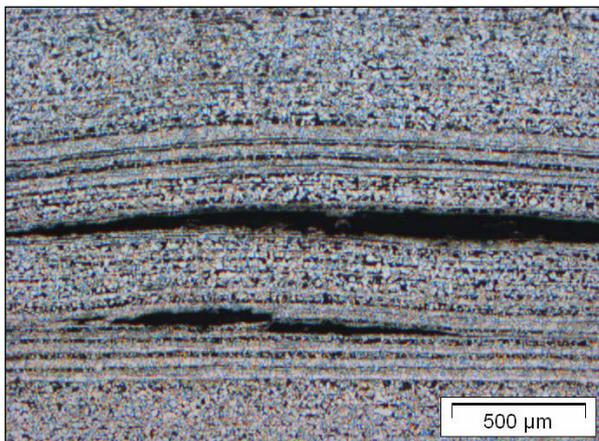


Abb. 1: Infolge zeitiger innerer Verunreinigungen initiierte Lamellenrisse in einem chinesischen Baustahl (Produktion Ende 1990).

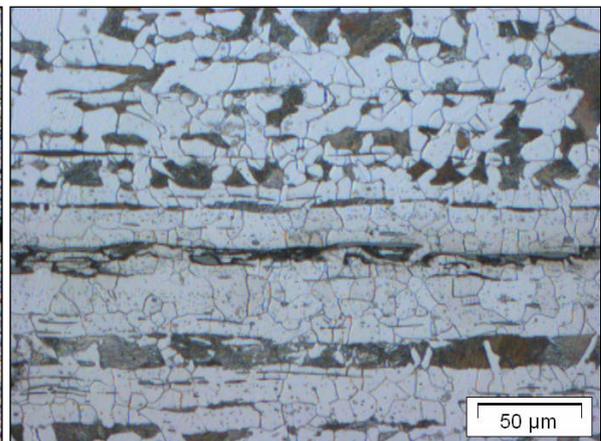


Abb. 2: Zeilige Verunreinigungen und Mikro-lamellenriss in einem Baustahl chinesischer Produktion (Produktion Ende 1990).

Weiteres Vertrauen verloren aus der Volksrepublik China importierte Stähle durch Manipulationen mit den Borgehalten dieser Werkstoffe zu Beginn der 2010er Jahre. Entsprechend einer Medieninformation des Stahl-Zentrums Düsseldorf [4] wurden in einer Reihe von Chargen aus unlegierten Baustählen erhöhte Gehalte dieses Elements festgestellt. Dieser Sachverhalt konnte ebenfalls durch eigene Untersuchungen an Grobblechen verschiedener Dicke bestätigt werden [5]. Schon geringe Mengen des gelösten Elements (5 bis 30 ppm) führen zu einer deutlichen Verzögerung der Ferrit-Perlit-Bildung sowie der Zwischenstufenumwandlung und damit zu einer Steigerung der Härte in der Wärmeeinflusszone von

Schweißverbindungen [6]. Für gezielt mit Bor legierte Stähle werden daher sortenabhängige Empfehlungen zur Vorwärmung beim Schmelzschweißen gegeben [7]. Ist jedoch nicht ersichtlich, dass dieses Element (betrügerisch) bewusst zulegiert wurde und werden diese damit nicht beachtet, kann bei den betroffenen Stählen mit einer deutlichen Minderung der Schweißbeignung gerechnet werden.

Die Ursache für das dargestellte Problem lag (bzw. liegt möglicherweise immer noch) in der Exportpolitik der Volksrepublik China. So wurden Ausfuhren von legierten Stählen mit Steuerrabatten in Höhe von 9 bis 13 % gefördert. Um diese Vorteile zu erhalten, setzten Produzenten von unlegierten Baustählen z. T. erhöhte Mengen des preiswerten Legierungselements Bor und neuerdings sogar Arsen zu. Beide Elemente sind kein Bestandteil der sogenannten 15er Analyse und darüber hinaus aufgrund ihrer geringen Gehalte im ppm-Bereich nicht mit jedem Spektrometer mit ausreichender Genauigkeit nachweisbar. Was in China Steuervorteile bringt, müsste auf den europäischen Importmärkten dazu führen, dass diese Stähle gemäß DIN EN 10 020 [8] als legierte Stähle zu klassifizieren sind. Und genau das geschah bzw. geschieht in vielen Fällen nicht. Obwohl die Bormengen zum Teil mehr als doppelt so hoch wie zulässig waren, wurden die Importe als unlegierte Baustähle vermarktet [4; 6]. Oft tragen diese Werkstoffe ebenfalls eine CE-Kennzeichnung (Abb. 4) obwohl sie den dafür erforderlichen Bedingungen nicht mehr entsprechen.

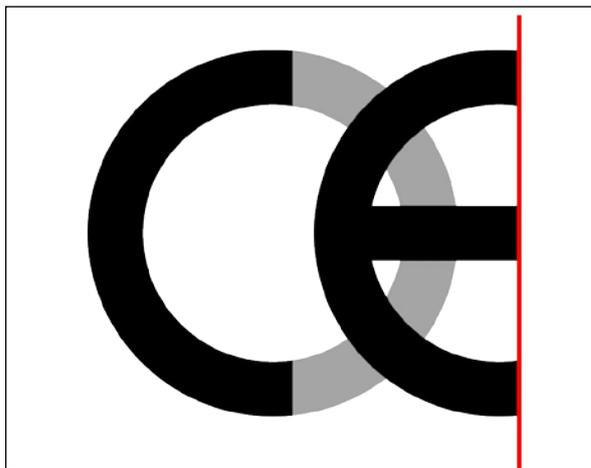


Abb. 3: Zeichen für CE = „China Export“, Täuschung.



Abb. 4: Zeichen für CE = Conformité Européenne, Original.

Der aktuell wohl bekannteste Skandal mit chinesischen Stahlprodukten ist die Neuerrichtung der Rheinbrücke Leverkusen im Zuge der BAB A1. Da das im Jahr 1965 errichtete und gut einen Kilometer lange Bestandsbauwerk, durch das im Vergleich zu seinem Baujahr um ein Vielfaches gestiegene Verkehrsaufkommen eine Vielzahl von strukturellen Schädigungen aufweist, soll es durch einen Neubau ersetzt werden. Das damit beauftragte Stahlbauunternehmen, die PORR Deutschland GmbH, Tochter der österreichischen PORR AG, lies große Stahlbauteile in der Volksrepublik China mit dort erzeugten Stählen fertigen und auf dem Schiffsweg nach Europa bringen. Die Qualitätskontrolle der im Hafen von Rotterdam angelieferten Konstruktionselemente zeigte jedoch eine Vielzahl von Problemen bei der Fertigungs- und Verarbeitungsqualität. Dazu zählten „fehlerhaft angebrachte Schweißnähte, Beulen, Hartstempelungen an den Oberflächen sowie massive Qualitätsmängel beim Korrosionsschutz ... [9]“. „Die Reparaturstellen an einem einzelnen Bauteil beweg(t)en sich zwischen 250 und 600 [9]“. Als Folge wurden die bereits gefertigten Teile verworfen und der Bau der Autobahnbrücke über den Rhein neu ausgeschrieben.

Die genannten Beispiele führen direkt zu der Frage, können in der Volksrepublik China nach dortigen Standards erzeugte unlegierte Baustähle und Feinkornbaustähle mit den in Europa hergestellten Werkstoffen bezüglich ihrer Qualität und ihren Eigenschaften verglichen werden?

## 2. Anwendungen im bauaufsichtlichen Bereich

Die Besonderheit der Anwendung von Baustählen und hochfesten Stählen im bauaufsichtlichen Bereich liegt darin, dass diese der europäischen Bauproduktenverordnung [10] unterliegt. In diesem Zusammenhang ist es unerheblich, wo die Werkstoffe erzeugt wurden. In Deutschland wird sie durch das Bauproduktengesetz umgesetzt. Dabei erfolgt die Umsetzung technischer Regeln über das deutsche Bau-recht (Länderrecht, Landesbauordnungen) und ist gesetzlich geregelt. Über die zu verwendenden Werkstoffe können die Vertragspartner somit nicht frei entscheiden (wie im nichtgeregelteten Bereich). Bisher waren die im bauaufsichtlichen Bereich zulässigen Werkstoffe übersichtlich in der zurückgezogenen nationalen Norm DIN 18 800-1 [11] genannt. Diese wurde durch die äußerst umfangreiche europäische Normenreihe DIN EN 1993-1-ff (Eurocode EC 3) ersetzt. So finden sich Werkstoffangaben u. a. in:

DIN EN 1993-1-1, DIN EN 1993-1-3, DIN EN 1993-1-8, DIN EN 1993-1-10, DIN EN 1993-1-11 und DIN EN 1993-1-12 sowie den dazugehörigen nationalen Anhängen (NA):

Insbesondere der nationale Anhang zur DIN EN 1993-1-1 [12; 13] gibt Hinweise zur Anwendung von Stahlsorten und Stahlprodukten. Dabei ist die Anwendung der DIN EN 1993-1-1 [12] auf Stahlsorten und Stahlprodukte nach Tabelle 1 beschränkt. Weitere im bauaufsichtlichen Bereich zulässige Stähle sind in DIN EN 1993-1-3 [14] genannt. Diese wurden in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Anwendung von Stahlsorten mit Streckgrenzen bis  $700 \text{ N/mm}^2$  ist in DIN EN 1993-1-12 [15] geregelt (Tabelle 3). Andere als die in diesen Tabellen zusammengefassten Stahlsorten dürfen nur dann verwendet werden, wenn:

- die chemische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften und die Schweißbeignung in den Lieferbedingungen des Stahlherstellers festgelegt sind und diese Eigenschaften einer der in EN 1993-1-1 [12] genannten Stahlsorten zugeordnet werden können, oder
- sie in Fachnormen (also auch ausländischen Regelwerken) vollständig beschrieben und hinsichtlich ihrer Verwendung geregelt sind, oder
- ihre Verwendbarkeit durch einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis (z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung bzw. Zustimmung im Einzelfall) nachgewiesen worden ist [13].

Waren bisher in DIN 18 800-7 [16] keine Werkstoffe genannt, sind diese jetzt in DIN EN 1090-2 [17] aufgelistet. Diese entsprechen im Wesentlichen den in Tabelle 1 bis 3 zusammengestellten Stählen. Darüber hinaus werden ebenfalls Hinweise über die zugelassenen Stahlgusswerkstoffe gegeben.

Aufgrund der Komplexität des Baurechts wird bei Fragen zu nicht in den obigen Tabellen genannten Werkstoffen empfohlen, vor Beginn der Arbeiten eine notifizierte Stelle zu konsultieren. In diesem Zusammenhang weisen der VdEH (Verein Deutscher Eisenhüttenleute) und das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt), basierend auf den Forderungen von DIN EN 1090-2 (Abschnitt 5.1) [17] zur Verwendung von Ausgangsprodukten, die nicht durch die aufgeführten Normen abgedeckt sind (z. B. Importwerkstoffe aus der Volksrepublik China und anderen außereuropäischen Ländern) darauf hin, was beim Umgang mit solchen bei der Verwendung im gesetzlich geregelten Bereich zusätzlich zu beachten ist. Da in Ländern außerhalb der Europäischen Union andere Normen und Standards gelten, kann es hier zu Abweichungen kommen. So werden:

- die Kerbschlagarbeitswerte stahlsortenabhängig häufig nicht garantiert,
- oder die Kerbschlagarbeit wird nur bei Raumtemperatur garantiert (da z. B. andere klimatische Verhältnisse),
- oder ein Vergleich zu europäischen Normen ist nur hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften Streckgrenze  $R_e$  und Zugfestigkeit  $R_m$  möglich.

Dabei wird ausdrücklich darauf verwiesen, dass die Verwendung solcher Werkstoffe im bauaufsichtlichen Bereich nicht zulässig ist.

Tabelle 1: Überblick über die in EN 1993-1-1 genannten Stahlwerkstoffe.

Norm	Werkstoffe
EN 10 025-2	unlegierte Baustähle S235, S275, S355, S450
EN 10 025-3	normalisierte oder normalisierend gewalzte Feinkornbaustähle S275N/NL, S355N/NL, S420N/NL, S460N/NL
EN 10 025-4	thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle S275M/ML, S355M/ML, S420M/ML, S460M/ML
EN 10 025-5	wetterfeste Baustähle S235W, S355W
EN 10 025-6	flüssigkeitsvergütete Feinkornbaustähle S460Q/QL/QL1
EN 10 210-1	warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Bau- und FK-Baustählen S235H, S275H, S355H, S275NH/NLH, S355NH/NLH, S420NH/NLH, S460NH/NLH
EN 10 219-1	kaltgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Bau- und FK-Baustählen S235H, S275H, S355H, S275NH/NLH, S355NH/NLH, S460NH/NLH, S275MH/MLH, S355MH/MLH, S420NH/MLH, S460MH/MLH

Tabelle 2: Überblick über die in EN 1993-1-3 genannten Stahlwerkstoffe.

Norm	Werkstoffe
EN 10 025-2	unlegierte Baustähle S235, S275, S355, S450
EN 10 025-3	normalisierte oder normalisierend gewalzte Feinkornbaustähle S275N/NL, S355N/NL, S420N/NL, S460N/NL
EN 10 025-4	thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle S275M/ML, S355M/ML, S420M/ML, S460M/ML
ISO 4997	kontinuierlich kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus unlegierten Baustählen CR 220, CR 250, CR 320
EN 10 326	kontinuierlich feuerverzinktes Blech aus unlegierten Baustählen S220GD+Z, S250GD+Z, S280GD+Z, S320GD+Z, S350GD+Z
EN 10 149-2	warmgewalzte Flacherzeugnisse aus hochfesten Stählen zur Kaltumformung S315MC, S355MC, S420MC, S460MC, S500MC, S550MC, S600MC, S650MC, S700MC
EN 10 149-3	warmgewalzte Flacherzeugnisse aus hochfesten Stählen zur Kaltumformung S260NC, S315NC, S355NC, S420NC
EN 10 268	kaltgewalzte Flacherzeugnisse aus Stahl mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen H240LA, H280LA, H320LA, H360LA, H400LA
EN 10 292	kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen H260LAD, H300LAD, H340LAD, H380LAD, H420LAD
EN 10 326	kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stahl mit Zn-Al-Überzügen S220GD+ZA, S250GD+ZA, S280GD+ZA, S320GD+ZA, S350GD+ZA
EN 10 326	kontinuierlich schmelztauchveredeltes Band und Blech aus Stahl mit Al-Zn-Überzügen S220GD+AZ, S250GD+AZ, S280GD+AZ, S320GD+AZ, S350GD+AZ
EN 10 327	kontinuierlich feuerverzinktes Band/Blech aus unlegierten Stählen zur Kaltverformung DX51D+Z, DX52D+Z, DX53D+Z

Tabelle 3: Überblick über die in EN 1993-1-12 genannten Stahlwerkstoffe.

Norm	Werkstoffe
EN 10 025-6	flüssigkeitsvergütete Feinkornbaustähle S500Q/QL/QL1, S500Q/QL/QL1, S620Q/QL/QL1, S690Q/QL/QL1,
EN 10 149-2	warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen S500MC, S550MC, S650MC, S700MC

### 3. Die weltweite Stahlerzeugung und die Volksrepublik China

Stahl ist mengenmäßig der mit Abstand bedeutendste (Konstruktions-) Werkstoff und hat in den vergangenen 50 Jahren weiter an Bedeutung gewonnen. Nach Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl betrug die Weltstahlproduktion im Jahr 1970 knapp 600 Millionen Tonnen, dagegen wurden im Jahr 2019 1875 Millionen Tonnen produziert [18]. Wie in Abb. 5 zu erkennen ist, ging der prozentuale Anteil Europas, Nordamerikas, der Nachfolgerstaaten der ehemaligen Sowjetunion (GUS) und auch Japans an der weltweiten Stahlproduktion seit den 1970er Jahren stetig zurück. Besonders auffällig ist der massive Rückgang der nordamerikanischen Rohstahlerzeugung (NAFTA) von nahezu der Hälfte der Welt-Rohstahlproduktion (47,7 %) im Jahr 1950 auf nur noch 6,4 % im Jahr 2019. Dagegen stieg der der Volksrepublik stark an. Sie ist mit über 50 % der Weltrohstahlproduktion (unlegiert und legiert) der gegenwärtig mit Abstand größte Erzeuger und Stahlexporteur. Gefolgt wurde sie im Jahr 2019 durch die EU-28 mit lediglich 8,5 %. Mit dem Austritt Großbritanniens aus der europäischen Union dürfte sich dieser Anteil noch weiter verkleinern.

Stand nach dem Tod von Mao ZEDONG (1893 bis 1976) bis Anfang des 21. Jahrhunderts durch zahlreiche Wirtschaftsreformen der schnelle Aufbau einer modernen Infrastruktur im Mittelpunkt der Entwicklungs- und Industriepolitik (für die u. a. sehr viel Stahl benötigt wird), verfolgt die Volksrepublik China mit der im Jahr 2015 verabschiedeten Initiative „Made in China 2025“ eine neuartige Strategie, die den technologischen Fortschritt in den Mittelpunkt stellt [19]. Dabei wird massiv in Forschung und Entwicklung investiert. So kann das Land etwa im Bereich von Fahrzeugen mit alternativen Antriebskonzepten, dem neuen Telekommunikationsstandard 5G, der künstlichen Intelligenz oder in der Raumfahrt erste nennenswerte Erfolge verbuchen. Geplant ist, bis 2049 als führende Industrienation an der Weltspitze stehen. Schattenseiten, wie etwa zwischenzeitlich aufgebaute industrielle Überkapazitäten, werden in Kauf genommen [19]. Zu diesen zählt ebenfalls die seit dem Jahr 2000 überproportional gewachsene Schwerindustrie. Damit wird der im Land erzeugte Stahl, also über die Hälfte der Weltproduktion (Abb. 5) nicht mehr in voller Menge benötigt. Staatlich subventioniert steht er für den Export bereit und überschwemmt die internationalen Märkte und verdrängt die ausländische Konkurrenz. Von einem marktwirtschaftlichen Wettbewerb kann daher nicht die Rede sein.

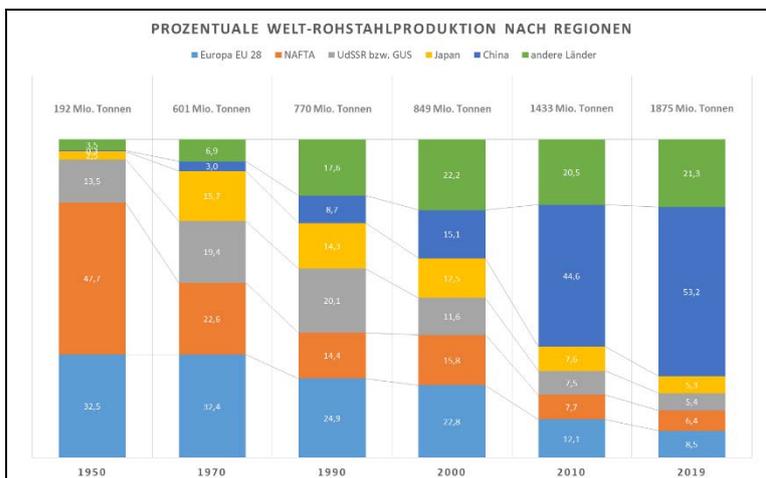


Abb. 5: Welt-Rohstahlproduktion nach Regionen (Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl, April 2020).

Neben nach europäischen Standards, wie der DIN 10 025-2 bis -6 [20-24] erzeugten und in den europäischen Markt exportierten Baustählen wird ebenfalls versucht, Stähle in Europa zu etablieren, die nach nationalen chinesischen Normen, wie der GB/T 700 [25] und der GB/T 1591 [26] hergestellt wurden. In den nachfolgenden Ausführungen soll daher auf die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen diesen Normen und dem vergleichbaren europäischen Regelwerk eingegangen werden.

#### 4. Stähle für den allgemeinen Stahlbau aus der Volksrepublik China

##### 4.1 Normung von Baustählen in der Volksrepublik China

Unlegierte Baustähle mit Streckgrenzen zwischen 195 und 275 N/mm<sup>2</sup> sowie unlegierte Bau- und Feinkornbaustähle mit Streckgrenzen  $\geq 355$  N/mm<sup>2</sup> sind in der Volksrepublik China in den nationalen Standards GB/T 700 [25] und GB/T 1591 [26] beschrieben (GB von 国标 = „Guo Biao“, deutsch: staatliche Norm) und basieren auf den internationalen Normen ISO 630-2 und -3 [27; 28]. Ihre Bezeichnungen setzen sich dabei mindestens aus vier Teilen zusammen und können durch zusätzliche Angaben erweitert werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: System der Kurzbezeichnung chinesischer Bau- und Feinkornbaustähle gemäß GB/T 700 [25] und GB/T 1591 [26].

1	2	3	4	Zusatz
Kennzeichnung als Baustahl	untere Streckgrenze für die geringste Erzeugnisdicke in N/mm <sup>2</sup> bzw. MPa	Lieferzustand für Stähle nach GB/T 1591	Gütegruppe / Qualitätslevel	Vergießungsart / Brucheinschnürung in Z-Richtung
<b>unlegierte Baustähle mit <math>R_e &lt; 355</math> N/mm<sup>2</sup> nach GB/T 700</b>				
Q	195	—	A	F
	215		B	Z
	235		C	TZ
	275		D	
<b>unlegierte Baustähle und Feinkornbaustähle mit <math>R_e \geq 355</math> N/mm<sup>2</sup> nach GB/T 1591</b>				
Q	355	(AR) WAR N +N M	B	Z25
	390		C	
	420		D	
	460		E	
	500		F	
	550			
	620			
690				

Tabelle 5: Vergießungsart nach GB/T 700 [25].

Kurzzeichen gemäß Tabelle	Beschreibung	Vergleich zu Stählen nach EN
F	unberuhigter Stahl (rimmed steel)	FU
Z	beruhigter Stahl (killed steel)	FN
TZ	besonders beruhigter Stahl (special killed steel)	FF

Tabelle 6: Lieferzustände nach GB/T 1591 [26]

Kurzzeichen gemäß Tabelle	Beschreibung
(AR)	Wie gewalzt (As Rolled). Konventionelles Warmwalzen ohne normalisierendes oder thermomechanisches Walzen und/oder Wärmebehandlungsbedingungen wie Normalglühen oder Abschrecken.
WAR	
N	Normalisiert. Wärmebehandlungsverfahren, bei dem der Stahl auf eine entsprechende Temperatur oberhalb seiner Austenitisierungstemperatur erhitzt und anschließend an Luft unter diese Temperatur abgekühlt wird.
+N	Die Endumformung erfolgt im Walzprozess innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs, um Stähle zu erzeugen, deren mechanische Eigenschaften denen entsprechen, die mit dem Zustand nach einer Normalisierung vergleichbar sind.
M	Walzverfahren mit einer Endumformung in einem bestimmten Temperaturbereich, das zu einem Werkstoffzustand mit bestimmten Eigenschaften führt, der durch eine Wärmebehandlung allein nicht erreicht wird und nicht wiederholbar ist.

Tabelle 7: Gütegruppen bzw. Qualitätslevel nach GB/T 700 [25].

Kurzzeichen gemäß Tabelle	Beschreibung	Phosphor in Masse-%	Schwefel in Masse-%	Kerbschlagarbeit* KV <sub>2</sub> ≥ 27 J
A	Die Gütegruppen bzw. Qualitätslevel unterscheiden sich durch ihre jeweiligen Phosphor- und Schwefelgehalte.	0,045	0,050	Die Prüftemperaturen variieren in Abhängigkeit von der Stahlsorte.
B		0,045	0,045 (0,050)	
C		0,040	0,045	
D		0,035	0,030	

\* Die Prüfung der Kerbschlagarbeitswerte soll längs (vertikal) zur Walzrichtung erfolgen. Die Prüftemperaturen können 20 °C, 0 °C und -20 °C betragen

Tabelle 8: Gütegruppen bzw. Qualitätslevel nach GB/T 1591 [26].

Kurzzeichen gemäß Tabelle	Beschreibung	Phosphor in Masse-%	Schwefel in Masse-%	Kerbschlagarbeit* KV <sub>2</sub> in J bei
B	Die Gütegruppen bzw. Qualitätslevel unterscheiden sich durch ihre jeweiligen Phosphor- und Schwefelgehalte sowie ihren Kerbschlagarbeitswerten.	0,035	0,035	20 °C
C		0,030	0,030	0 °C
D		0,030	0,025	-20 °C
E		0,025	0,020	-40 °C
F		0,020	0,010	-60 °C

\*) In Abhängigkeit von der Lage zur Walzrichtung (längs oder quer), können die Stähle unterschiedliche Mindestanforderungen an die Kerbschlagarbeit KV<sub>2</sub> aufweisen

Tabelle 9: Zuordnung von Kerbschlagarbeitswerten für Stähle im Lieferzustand AR bzw. WAR zu den Gütegruppen bzw. Qualitätslevel nach GB/T 1591 [26].

Kurzzeichen gemäß Tabelle	Mindestkerbschlagarbeit KV <sub>2</sub> in J in Abhängigkeit von der Prüftemperatur in °C									
	20		0		-20		-40		-60	
	l*	q**	l	q	l	q	l	q	l	q
B	34	27	—	—	—	—	—	—	—	—
C	—	—	34	27	—	—	—	—	—	—
D	—	—	—	—	34	27	—	—	—	—

\* längs zur Walzrichtung, \*\* quer zur Walzrichtung

Tabelle 10: Zuordnung von Kerbschlagarbeitswerten für Stähle in den Lieferzuständen N und M bis Mindeststreckgrenzen ≤ 460 N/mm<sup>2</sup> zu den Gütegruppen bzw. Qualitätslevel nach GB/T 1591 [26].

Kurzzeichen gemäß Tabelle	Mindestkerbschlagarbeit KV <sub>2</sub> in J in Abhängigkeit von der Prüftemperatur in °C									
	20		0		-20		-40		-60	
	l*	q**	l	q	l	q	l	q	l	q
B	34	27	—	—	—	—	—	—	—	—
C	—	—	34	27						
D	55	31	47	27	40	20	31	20	27	16
E	63	40	55	34	47	27				
F										

\* längs zur Walzrichtung, \*\* quer zur Walzrichtung

Tabelle 11: Zuordnung von Kerbschlagarbeitswerten für Stähle in den Lieferzuständen N und M bis Mindeststreckgrenzen ≥ 500 N/mm<sup>2</sup> zu den Gütegruppen bzw. Qualitätslevel nach GB/T 1591 [26].

Kurzzeichen gemäß Tabelle	Mindestkerbschlagarbeit KV <sub>2</sub> in J in Abhängigkeit von der Prüftemperatur in °C									
	20		0		-20		-40		-60	
	l*	q**	l	q	l	q	l	q	l	q
C	—	—	55	34	47	27	—	—	—	—
D			—	—						
E			—	—	—	—	31	20		

\* längs zur Walzrichtung, \*\* quer zur Walzrichtung

Die Vergieungsarten für Stähle nach GB/T 700 sind in Tabelle 5 aufgeführt, die möglichen Lieferzustande für Stähle nach GB/T 1591 enthält Tabelle 6 und die Gütegruppen (sogenannte Qualitätslevel) sind in Tabelle 7 bis 11 erklärt. Dabei bestehen zwischen diesen in Abhängigkeit von der jeweiligen Norm Unterschiede. Es fällt auf, dass in der aktuellen Ausgabe der Norm GB/T 700 [25] für unlegierte Baustähle mit einer maximalen Streckgrenze von 275 N/mm<sup>2</sup> noch der Desoxidationsgrad „unberuhigt“ (F  $\cong$  FU) existiert. Dieser ist in Europa seit dem Jahr 2005 für solche Werkstoffe nicht mehr zulässig.

## 4.2 Vergleich mit europäischen Baustählen

Die entsprechend den chinesischen Normen GB/T 700 [25] und GB/T 1591 [26] genormten Stähle für den allgemeinen Stahlbau korrespondieren mehr oder weniger mit den europäischen Standards DIN EN 10 025-2 [20], DIN EN 10 025-3 [21] und DIN EN 10 025-4 [22]. Eine Gegenüberstellung der Werkstoffe enthält Tabelle 12. Dabei ist die Aufteilung der betreffenden Werkstoffe auf die jeweiligen Standards abweichend. Während seit Ende 2019 in Europa alle unlegierten Baustähle mit Streckgrenzen zwischen 235 und 500 N/mm<sup>2</sup> durch eine Norm, die DIN EN 10 025-2 [20] beschrieben werden, sind diese in der Volksrepublik China auf zwei Standards, die GB/T 700 [25] und die GB/T 1591 [26] verteilt.

*Tabelle 12: Gegenüberstellung von Baustählen nach GB/T 700 und GB/T 1591 zu europäischen Werkstoffen.*

Baustähle nach GB/T 700 [25] und GB/T 1591 [26]	unleg. Baustähle nach: EN 10 025-2 [20]	Feinkornbaustähle nach: EN 10 025-3 [21]	Feinkornbaustähle nach: EN 10 025-4 [22]			
Q195	—	—	—			
Q215						
Q235B						
Q235C						
Q235D						
Q275B						
Q275C						
Q275D						
Q355B(AR)	S355JR	—	—			
Q355C(AR)						
Q355D(AR)						
Q355ND	—	S355N	—			
Q355NE		S355NL				
Q355MD		—		S355M		
Q355ME		—		S355ML		
Q420ND		—		S420N	—	
Q420NE				S420NL		
Q420MD				—		S420M
Q420ME				—		S420ML
Q460C(AR)	S460J0		—	—		
Q460ND	—	S460N	—			
Q460NE		S460NL				
Q460MD		—		S460M		
Q460ME		—		S460ML		
Q500MD		—		—	S500M	
Q500ME	—	—	S500ML			

Bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung sowie den mechanisch-technologischen Eigenschaften sind die chinesischen mit europäischen Sorten vergleichbar. Dieses soll an zwei Beispielen für die gebräuchlichsten unlegierten Baustähle, den S235 (Q235) und den S355 (Q355) näher dargelegt werden. Wie aus den Tabellen 13 und 14 hervorgeht, unterscheiden sich die chemischen Zusammensetzungen (Schmelzanalysen) nicht wesentlich. Die gegenüber den europäisch genormten Sorten S235JR bis

S235J2 etwas höheren Gehalte an Phosphor und Schwefel in den Werkstoffen Q235B bis Q235D sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf das bereits fortgeschrittene Alter der chinesischen Norm GB/T 700 [25] zurückzuführen. Sie wurde im Jahr 2006 herausgegeben. Dem gegenüber sind die Schmelzanalysen für Stähle der Sorten S355 bzw. Q355 nahezu identisch. Die chinesischen Norm GB/T 1591 [26] schränkt dabei den maximal zulässigen Kupfergehalt im Baustahl auf nur 0,40 % ein, was sich positiv auf die Schweißbeugung dieser Werkstoffe und deren Beständigkeit gegenüber der Bildung von Heißrissen auswirkt. Ebenfalls nahezu bis vollkommen identisch sind die Vorgaben für die Festigkeits-, Dehnungs- und Zähigkeitseigenschaften der Sorten S235 bzw. Q235 sowie S355 bzw. Q355 (Tabelle 15 und 16).

Tabelle 13: Vergleich der Schmelzanalysen für die Stahlsorten S235 und Q235.

Sorte	Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse) für Erzeugnisdicken ≤ 16 mm							
	% C (max.)	% Si (max.)	% Mn (max.)	% P (max.)	% S (max.)	% N (max.)	% Cu (max.)	sonstige in %
S235JR	0,17	—	1,40	0,035	0,035	0,012	0,55	**
Q235B	0,20	0,35		0,045	0,045		0,30*	* / **
S235J0	0,17	—	1,40	0,030	0,030	0,012	0,55	**
Q235C		0,35		0,040	0,040		0,30*	* / **
S235J2	0,17	—	1,40	0,025	0,025	0,012	0,55	**
Q235D		0,35		0,035	0,035		0,30*	* / **

\* weitere Elemente, wie Cu, Cr, Ni nicht mehr als 0,30 %  
\*\* der Gesamtgehalt an Al sollte nicht unter 0,020 % betragen

Tabelle 14: Vergleich der Schmelzanalysen für die Stahlsorten S355 und Q355.

Sorte	Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse) für Erzeugnisdicken ≤ 16 mm							
	% C (max.)	% Si (max.)	% Mn (max.)	% P (max.)	% S (max.)	% N (max.)	% Cu (max.)	sonstige in %
S355JR	0,24	0,55	1,60	0,035	0,035	0,012	0,55	**
Q355B							0,40	* / **
S355J0	0,20	0,55	1,60	0,030	0,030	0,012	0,55	**
Q355C							0,40	* / **
S355J2	0,20	0,55	1,60	0,025	0,025	—	0,55	**
Q355D							0,40	* / **

\* weitere Elemente, wie Cr, Ni nicht mehr als 0,30 %  
\*\* der Gesamtgehalt an Al sollte nicht unter 0,020 % betragen

Tabelle 15: Vergleich der mechanisch-technologischen Eigenschaften für die Stahlsorten S235 und Q235.

Sorte	Mechanisch-technologische Eigenschaften für Erzeugnisdicken ≤ 16 mm			
	Streckgrenze R <sub>eH</sub> in N/mm <sup>2</sup> (min)	Zugfestigkeit R <sub>m</sub> in N/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung A <sub>5</sub> in % (min.)	Kerbschlagarbeit KV <sub>2</sub> in J (min.)
S235JR	235	360 bis 510	26* (24**)	27
Q235B		370 bis 500	26	
S235J0	235	360 bis 510	26* (24**)	27
Q235C		370 bis 500	26	
S235J2	235	360 bis 510	26* (24**)	27
Q235D		370 bis 500	26	

\* Prüfung längs zur Walzrichtung  
\*\* Prüfung quer zur Walzrichtung

Tabelle 16: Vergleich der mechanisch-technologischen Eigenschaften für die Stahlsorten S355 und Q355.

Sorte	Mechanisch-technologische Eigenschaften für Erzeugnisdicken ≤ 16 mm			
	Streckgrenze R <sub>eH</sub> in N/mm <sup>2</sup> (min)	Zugfestigkeit R <sub>m</sub> in N/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung A5 in % (min.)	Kerbschlagarbeit KV <sub>2</sub> in J (min.)
S355JR Q355B	355	470 bis 630	22* (20**)	27
S355J0 Q355C	355	470 bis 630	22* (20**)	27
S355J2 Q355D	355	470 bis 630	22* (20**)	27

\* Prüfung längs zur Walzrichtung  
\*\* Prüfung quer zur Walzrichtung

### 4.3 Normative Hinweise auf die Schweißbeignung von Stählen für den allgemeinen Stahlbau

Im Jahr 1994 wurden in der damaligen Ausgabe von DIN EN 10 025 [29] erstmals Höchstwerte für das Kohlenstoffäquivalent CEV vorgegeben. Es gibt Auskunft über die Schweißbeignung unlegierter (Bau-)Stähle bezüglich ihrer Neigung zur Bildung von Kaltrissen vom Typ Aufhärtungsrisse (Rissbildung infolge Martensitbildung). So kann aus der Kombination CEV und Blechdicke die Notwendigkeit einer Vorwärmung, nicht jedoch die Höhe der Vorwärmtemperatur abgeschätzt werden. Hierzu müssen weitere Einflussgrößen beim Schweißen berücksichtigt werden. Es ist seit 2005 Bestandteil aller Normenteile von DIN EN 10 025 und weiterer europäischer Normen. Während in der aus dem Jahr 2006 stammenden chinesischen Norm für unlegierte Baustähle GB/T 700 [25] Vorgaben für das Kohlenstoffäquivalent CEV vollkommen fehlen, sind solche in der Norm für unlegierte Baustähle und Feinkornbaustähle GB/T 1591 [26] enthalten.

Tabelle 17: Höchstwerte für das Kohlenstoffäquivalent (CEV) nach der Schmelzanalyse für unlegierte Baustähle mit einer Mindeststreckgrenze von 355 N/mm<sup>2</sup>.

Sorte	Höchstwert CEV in % für eine Erzeugnis-Nennstärke in mm				
	≤ 30	> 30 ≤ 40	> 40 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S355JR Q355B	0,45	0,47	0,47	0,49	0,49
S355J0 Q355C	0,45	0,47	0,47	0,49	0,49
S355J2 Q355D	0,45	0,47	0,47	0,49	0,49

Tabelle 18: Höchstwerte für das Kohlenstoffäquivalent (CEV) nach der Schmelzanalyse für normalisierend gewalzte Feinkornbaustähle mit einer Mindeststreckgrenze von 355 N/mm<sup>2</sup>.

Sorte	Höchstwert CEV in % für eine Erzeugnis-Nennstärke in mm		
	≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 250
S355N Q355ND	0,43	0,45	0,45
S355NL Q355NE	0,43	0,45	0,45

Tabelle 19: Höchstwerte für das Kohlenstoffäquivalent (CEV) nach der Schmelzanalyse für thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle mit einer Mindeststreckgrenze von 355 N/mm<sup>2</sup>.

Sorte	Höchstwert CEV in % für eine Erzeugnis-Nennstärke in mm			
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 150
S355M	0,39	0,39	0,40	0,45
Q355MD				
S355ML	0,39	0,39	0,40	0,45
Q355ME				

Wie die Angaben in Tabelle 17 bis 19 zeigen, stimmen die Vorgaben für die Kohlenstoffäquivalente CEV zwischen beiden Regelwerken vollkommen überein. Das heißt, chinesische unlegierte Baustähle und Feinkornbaustähle mit Mindeststreckgrenzen  $\geq 355 \text{ N/mm}^2$  nach GB/T 1591 [26] zeichnen sich bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzungen durch eine identische theoretische Schweißleistung aus. Neben den Empfehlungen für die Höchstwerte des Kohlenstoffäquivalents CEV enthält die Norm GB/T 1591 [26] zusätzliche Angaben zum Rissempfindlichkeitsindex Pcm (Critical Metal Parameter) [30]. Dieser Kennwert beschreibt im Unterschied zum Äquivalent CEV die Empfindlichkeit von Schweißverbindungen mit niedrigen Gehalten an Kohlenstoff und weiterer Legierungselemente gegenüber der Bildung wasserstoffunterstützter Kaltrisse im Bereich von Martensitausscheidungen. Diesbezügliche Angaben fehlen im betreffenden europäischen Regelwerk der Normenreihe DIN EN 10 025. Damit entsprechen die nach der chinesischen Norm GB/T 1591 [26] erzeugten Stähle dem aktuellen normativen Stand der Technik.

Da Angaben zu diesen Äquivalenten (insbesondere zum CEV) für unlegierte Baustähle mit Mindeststreckgrenzen  $< 355 \text{ N/mm}^2$  fehlen und diese Werkstoffe nach dem aktuellen Stand der chinesischen Normung in GB/T 700 [25] höhere Phosphor- und Schwefelgehalte aufweisen können (bis 0,045 %, siehe Tabelle 13), ist deren Schweißleistung vergleichbar mit solchen Stählen, die in Deutschland vor 1994, z. B. nach der nationalen Norm DIN 17 100 [31], erzeugt wurden.

## 5. Zusammenfassung

Die gezielte Gegenüberstellung chinesischer und europäischer Normen für unlegierte Baustähle und Feinkornbaustähle ergab eine weitgehende Übereinstimmung beider Regelwerke. Unterschiede bestehen jedoch in der Zuordnung der betreffenden Stahlsorten auf die jeweiligen Standards.

Werden in China Werkstoffe mit Mindeststreckgrenzen bis einschließlich  $275 \text{ N/mm}^2$  zu den Kohlenstoffbaustählen („Carbon Structural Steels“) gezählt und sind in der nationalen Norm GB/T 700 [25] reguliert, werden unlegierte Baustähle und Feinkornbaustähle mit Mindeststreckgrenzen  $\geq 355 \text{ N/mm}^2$  den hochfesten unlegierten Baustählen („High Strength Low Alloy Structural Steels“) zugeordnet und in der Norm GB/T 1591 [26] beschrieben. Insbesondere bei diesen Werkstoffen bestehen zwischen den chinesischen und den europäischen normativ nahezu keine Unterschiede. So sind die meisten der analytischen und mechanischen Kennwerte vollkommen identisch (Abb. 6 bis 9). Diese Aussage trifft vollumfänglich auch für die zur Bewertung der Schweißleistung geeigneten Kohlenstoffäquivalente CEV zu (Neigung zur Bildung von Aufhärtungsrissen infolge Martensitbildung). Im Unterschied zum europäischen Regelwerk für unlegierte Baustähle und Feinkornbaustähle erlaubt die chinesische Norm GB/T 1591 [26] darüber hinaus eine Abschätzung der Empfindlichkeit gegenüber wasserstoffunterstützter Rissbildung über den Kennwert Pcm. Forderungen zur zulässigen Korngröße und deren Bestimmung gemäß DIN EN ISO 643 [32] fehlen jedoch.

Der Kennbuchstabe „Q“ für die chinesischen Baustähle (chinesisch: „屈“, deutsch: „Qu“) ist die Kurzform von „Qu Fu Qiang Du“ (chinesisch: „屈服强度“) und kann mit Streckgrenze übersetzt werden.

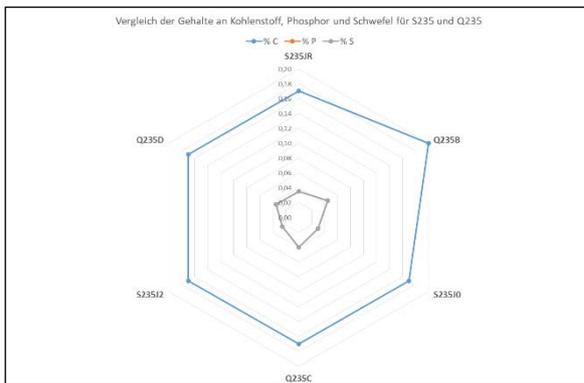


Abb. 6: Vergleich der Gehalte an Kohlenstoff, Phosphor und Schwefel für Stähle der Sorten S235 und Q235.

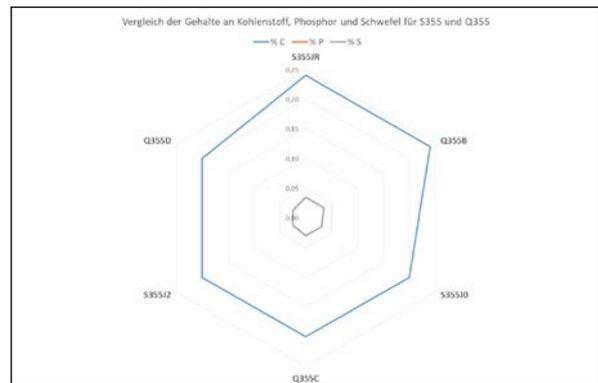


Abb. 7: Vergleich der Gehalte an Kohlenstoff, Phosphor und Schwefel für Stähle der Sorten S355 und Q355.

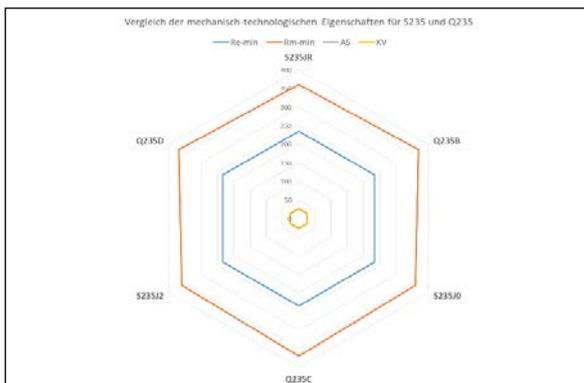


Abb. 8: Vergleich der mechanisch-technologischen Eigenschaften für Stähle der Sorten S235 und Q235.

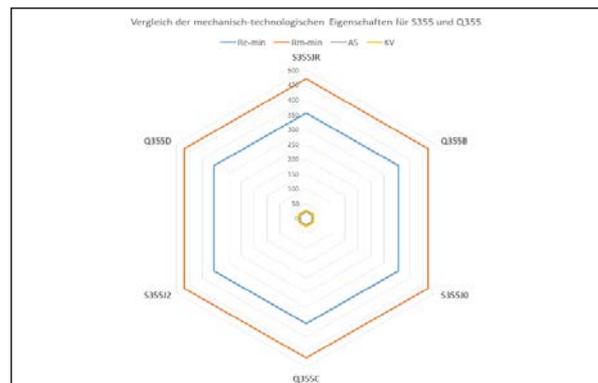


Abb. 9: Vergleich der mechanisch-technologischen Eigenschaften für Stähle der Sorten S355 und Q355.

Werden die unter Beachtung der in DIN EN 1090-2 [17] aufgeführten Forderungen und den darauf basierenden Hinweisen des VdEh (Verein Deutscher Eisenhüttenleute) und des Deutschen Instituts für Bauprüfung (DIBt) für eine Verwendung von nicht nach europäischen Standards erzeugten Stählen im bauaufsichtlichen Bereich auf chinesische Stähle für den allgemeinen Stahlbau übertragen, lassen sich aus den vorangegangenen Vergleichen die nachfolgenden Schlussfolgerungen ableiten:

- Die chemische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften und die Schweißbeignung sind in Lieferbedingungen des Stahlherstellers (nach den chinesischen Standards GB/T 700 [25] und GB/T 1591 [26]) festgelegt. Diese Eigenschaften können einer der in EN 1993-1-1 [12] genannten Stahlsorten zugeordnet werden.
- Sie sind in den genannten Fachnormen weitgehend vollständig beschrieben und hinsichtlich ihrer Verwendung geregelt.

Darüber hinaus liegt herstellerspezifisch für ausgewählte unlegierte Baustähle aus der Volksrepublik China ebenfalls ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis in Form einer Europäischen Technischen Bewertung ETA durch das DIBt vor [33].

Trotz ihrer guten bis sehr guten normativen Vergleichbarkeit mit europäischen Stählen für den allgemeinen Stahlbau wird aufgrund der am Anfang dieses Beitrags erwähnten und bisher bekanntgewordenen Manipulationen und Trickereien chinesischer Stahlhersteller und -exporteure zwingend empfohlen, aus dem Land der Mitte importierte Werkstoffe vor ihrem Einsatz im geregelten und auch im unregulierten Bereich einer umfassenden Prüfung ihrer analytischen und mechanisch-technologischen Eigenschaften (in deutschen akkreditierten Laboren) zu unterziehen. Dazu zählt insbesondere ebenfalls der Nachweis ihrer Schweißbeignung.

Eine Bewertung dieser Eigenschaften allein auf Basis mitgelieferter Dokumente, wie z. B. Werks- und Abnahmeprüfzeugnissen ist aus den genannten Gründen abzulehnen. Damit ist ein möglicher Preisvorteil infolge der wettbewerbsverzerrenden staatlichen Subventionierung durch die Regierung der Volksrepublik China schnell aufgebraucht.

Unter der Annahme, dass die importierten Stähle unter genauer Beachtung der im Beitrag diskutierten nationalen chinesischen Normen in modernen Stahlwerken mit umfassender Qualitätsüberwachung erzeugt wurden und die Prüfergebnisse der analytischen sowie mechanisch-technologischen Eigenschaften nicht manipuliert wurden, ist nichts gegen die Verwendung dieser Werkstoffe im allgemeinen Stahlbau in Europa einzuwenden.

Abschließend ist festzustellen, dass die bekanntgewordenen Trickserien mit dem Borgehalt [4; 5] auch gegen die zitierten Normen GB/T 700 [25] und GB/T 1591 [26] verstoßen und nach diesen nicht zulässig sind.

## 6. Literatur

- [1] sil/AP: Strahlende Billigware – Polizei beschlagnahmt radioaktiven Stahl aus China. Hamburg: Der Spiegel GmbH & Co. KG, 03.03.2008, 20.03 Uhr.  
<https://www.spiegel.de/wirtschaft/strahlende-billigware-polizei-beschlagnahmt-radioaktiven-stahl-aus-china-a-539120.html>  
Internetquelle: abgerufen am 01.04.2021.
- [2] Röhrlich, D.: Verstrahlter Schrott.  
Köln: Deutschlandradio – Körperschaft des öffentlichen Rechts, 25.02.2009  
[https://www.deutschlandfunk.de/verstrahlter-schrott.676.de.html?dram:article\\_id=26214](https://www.deutschlandfunk.de/verstrahlter-schrott.676.de.html?dram:article_id=26214)  
Internetquelle: abgerufen am 01.04.2021.
- [3] Verordnung (EG) Nr. 765/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. Juli 2008 über die Vorschriften für die Akkreditierung und Marktüberwachung im Zusammenhang mit der Vermarktung von Produkten und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 339/93 des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union vom 13.08.2008.
- [4] Brüninghaus, B.: Es muss drin sein, was draufsteht - Chinesische Importe verunsichern Marktteilnehmer in Europa. Medieninformation der Wirtschaftsvereinigung Stahl im Stahl-Zentrum, Düsseldorf: Stahl-Zentrum, 14.11.2014.
- [5] Schuster, J.; Kokot, T.: Schweißbeignung von Baustählen mit erhöhten Borgehalten – Ein Sturm im Wasserglas? Der Praktiker, Düsseldorf, 68 (2016) 6, S. 238-245.
- [6] Lieber, T.; Adams, J.: Legiert oder unlegiert – das ist hier die Frage Der Rechtsfall aus dem Stahlhandel. Salzgitter: Stahlreport, 12-2014.
- [7] Domex® – High Strength Steel: Domex härtbare Stähle - Borstähle warmgewaltes härtbare Stahlblech. Datenblatt: 11-01-05, DE8410, DOMEX, Borlänge: SSAB EMEA AB, 2005.
- [8] DIN EN 10 020: Begriffsbestimmung für die Einteilung der Stähle. Ausgabe 2000-07.
- [9] Warum der Neubau der Autobahnbrücke auf der A1 ein Desaster ist. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, Ingenieur.de, 16.06.2020, 10:23 Uhr  
<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/bau/warum-der-neubau-der-autobahn-bruecke-leverkusen-auf-der-a1-ein-desaster-ist>  
Internetquelle: abgerufen am 01.04.2021.
- [10] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union vom 04.04.2011.
- [11] DIN 18 800-1: Stahlbauten - Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Ausgabe 2008-11 (zurückgezogen).
- [12] DIN EN 1993-1-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Ausgabe 2022-10.

- [13] DIN EN 1993-1-1/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Ausgabe 2022-10.
- [14] DIN EN 1993-1-3: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche. Ausgabe 2010-12.
- [15] DIN EN 1993-1-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S700. Ausgabe 2010-12.
- [16] DIN 18 800-7: Stahlbauten - Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation. Ausgabe 2008-11 (zurückgezogen).
- [17] DIN EN 1090-2: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken. Ausgabe 2018-09.
- [18] Wirtschaftsvereinigung Stahl: Statistiken – Internationale Stahlmärkte. Berlin: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2021, <https://www.stahl-online.de/index.php/statistiken/2>; Internetquelle: abgerufen am 01.04.2021.
- [19] Zenglein, M. J.; Holzmann, A.: Chinas industrie-politische Strategie – Eine Gefahr oder Chance für Europa? Wiso Direkt, Bonn 07 (2020), S. 1-4, Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung, 2020, ISBN: 978-3-96250-557-8
- [20] DIN EN 10 025-2: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle. Ausgabe 2019-10.
- [21] DIN EN 10 025-3: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle. Ausgabe 2019-10.
- [22] DIN EN 10 025-4: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle. Ausgabe 2023-02.
- [23] DIN EN 10 025-5: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 5: Technische Lieferbedingungen für wetterfeste Baustähle. Ausgabe 2019-10.
- [24] DIN EN 10 025-6: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 6: Technische Lieferbedingungen für Flacherzeugnisse aus Stählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten Zustand. Ausgabe 2023-06-
- [25] GB/T 700: **碳素结构钢** – Carbon Structural Steels. Ausgabe 2006-11.
- [26] GB/T 1591: **低合金高强度结构钢** – High Strength Low Alloy Structural Steels. Ausgabe 2018-05.
- [27] ISO 630-2: Structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for structural steels for general purposes. Ausgabe 2021-04.
- [28] ISO 630-3: Structural Steels – Part 3: Technical delivery conditions for fine-grain structural steels. Ausgabe 2021-04.
- [29] DIN EN 10 025: Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen – Technische Lieferbedingungen. Ausgabe 1994-03.
- [30] Devletian, J. H.: The National Shipbuilding Research Program – Carbon Equivalent (Pcm) Limits for Thick Carbon and Low Alloy Steels. U.S. Department Of The Navy: National Shipbuilding Research Project #7-96-3, 04.04.2000.
- [31] DIN 17 100: Allgemeine Baustähle – Gütenorm. Ausgabe: 1980-01.
- [32] DIN EN ISO 643: Stahl – Mikrophotographische Bestimmung der erkennbaren Korngröße. Ausgabe 2023-08.
- [33] Europäische Technische Bewertung ETA-11/0322: Vorgefertigte Bauteile aus warmgewalzten Erzeugnissen aus den Stahlsorten Q235B, Q235D, Q345B und Q345D. Deutsches Institut für Bau-technik, 23.11.2016



# EINEN GANG HÖHER SCHALTEN

mit Schweiß-, Schneid- und Umwelttechnik der MSS



**ABSOLUT PROFESSIONELL.  
EXTREM LEISTUNGSFÄHIG.**



# WELD-BESTER SERVICE

**Wir konfigurieren, installieren und warten Ihre Schweißautomation.**



**Unser Weld-Verbesserer Marcel Weihhaupt ist Ihr Ansprechpartner bei der MSS, wenn es um eine für Sie zugeschnittene Bewertung, Prozessoptimierung und Automation geht!**

**Gleich anrufen:  
0172 - 32 77 596**



Mehr als 14.000 verkaufte Schweißgeräte, über 500 regionale und überregionale Kunden für schweiß- und umwelttechnische Anlagen dokumentieren unsere Leistungsfähigkeit.

Als Systemlieferant für Schweiß- und Umwelttechnik bieten wir komplette Lösungen: von der Konzeption über Finanzierungsmöglichkeiten bis zur Inbetriebnahme inkl. Schulung der Mitarbeiter unserer Kunden.

Das Produktprogramm umfasst neben moderner Schweiß- und Schneidtechnik auch Schweißroboter, Schweißautomation, Schweißzubehör, Schweißzusatzwerkstoffe, schweißspezifischen Arbeitsschutz und Schweißrauchabsauganlagen. In unserem modernen Lager halten wir mehr als 5000 Artikel bereit, so dass eine schnellste Lieferung garantiert ist.

In unserem eigenen Anwendungszentrum führen wir neben speziellen Kundenversuchen auch Workshops und Fachveranstaltungen durch, die kompaktes Know-how vermitteln.

Mit einer umfangreichen Ausstattung und erfahrener Personal bieten wir kurze Reparaturzeiten in einer hohen Qualität der Betreuung. Die auf Service ausgerichtete Kundenbetreuung ist ein wesentlicher Eckpfeiler unserer erfolgreichen Unternehmensstrategie.

Die Anforderungen an die schweißtechnischen Komponenten erhöhen sich in einem atemberaubenden Tempo. Neue Werkstoffkombinationen stellen immer größere Herausforderungen an die Schweißtechnik. Mit modernster Schweißtechnik lassen sich die Aufgaben aber immer schneller und einfacher lösen.

Die Technik wird beratungsintensiver: Hier sehen wir für uns weitere Aufgaben in den nächsten Jahren. Gut ausgebildetes Fachpersonal und Produkte auf dem neuesten Stand der Technik garantieren die erfolgreiche Zukunft unseres Unternehmens.

## 1. Einleitung

Das Schweißen ist eine Querschnittstechnologie, die in vielen Bereichen zur Anwendung kommt, wie bspw. dem Fahrzeugbau oder dem Anlagen- und Maschinenbau. Sie ist aber ebenso essenziell für die Herausforderungen der Zeit, egal ob bei der Fortentwicklung der erneuerbaren Energien, der Einführung von Wasserstoff als Energieträger oder aber dem Verteidigungswesen. Andererseits ist die Zahl des schweißtechnischen Personals bedingt durch den demografischen Wandel und das unattraktive Berufsbild stark rückläufig. Der VDA schätzte den Rückgang bereits 2012 auf rund 35%. Konsequenz ist, dass 54 % der Unternehmen keine Nachfolger für Stellen, die frei werden und wiederbesetzt werden sollen, finden [1]. Bei einer Befragung des DVS gaben 42 % der befragten Unternehmen an, dass aufgrund fehlender Fachkräfte zunehmend Aufträge nicht oder nur teilweise ausgeführt werden können. Als Folge hieraus sind Umsatzeinbußen bei den Unternehmen zu verzeichnen [2].

Des Weiteren kann mit Hilfe digitaler Technologien und Lösungen in Deutschland im Jahr 2030 der Ausstoß von bis zu 290 Megatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent vermieden werden. Das würde etwa 37% der prognostizierten Treibhausgas-Emissionen des Jahres 2030 entsprechen. Die Potenziale sind in Deutschland fast doppelt so groß wie im globalen Durchschnitt und liegen hierzulande v.a. in der Industrieproduktion [3]. Ein Lösungsansatz ist die Nutzung von KI-Algorithmen in der Schweißtechnik und deren Qualitätssicherung, dazu folgen einige Anwendungsbeispiele.

### 1.1 KI-basierte Parameterprognose

Ein Megatrend der Zeit ist die zunehmende Individualisierung. Daraus resultierend ist auch die schweißtechnische Fertigung geprägt von einer steigenden Variantenvielfalt, woraus wiederum eine erhöhte Produktionsflexibilität resultiert. Dem zufolge werden die zu fertigenden Stückzahlen kleiner. Andererseits steigen jedoch die Qualitätsanforderungen der Kunden. Diese Entwicklung steht jedoch im Widerspruch zur Anwendung von KI, da diese auf Basis „big data“, also großen verfügbaren Datenmengen basiert. Ziel eines bei TIME durchgeführten FuE-Vorhabens war daher, mit Hilfe von KI eine Prognose für geeignete MSG-Schweißparameter zu realisieren, auch wenn nur kleine Stückzahlen gefertigt werden. Wegen der besseren Reproduzierbarkeit erfolgten die Versuche an einem automatisierten MAG-Schweißprozess. Bei diesem besteht die Möglichkeit, Drahtvorschubgeschwindigkeit sowie die elektrische Spannung, die Schweißgeschwindigkeit, den Brenneranstellwinkel und andere Größen zu steuern. Vor allem die Entwicklung dieser Schweißparameter kann für die gezielte Erzeugung einer vorgegebenen Schweißnahtgeometrie herausfordernd sein. Mit den hier präsentierten Prototypen eines Schweißparameterermittlungstools soll eine Unterstützung dafür geboten werden. Sie beruhen auf nicht linearen Regressionsmodellen, die eine Vielzahl an Daten für eine genaue Prognose benötigen. Um die notwendigen Daten zu generieren, bediente sich TIME der Korrelationen zwischen den Einflussgrößen auf die Schweißnahtgeometrie und entwickelte die Prototypen anhand der Abfolge in Abb. 1.

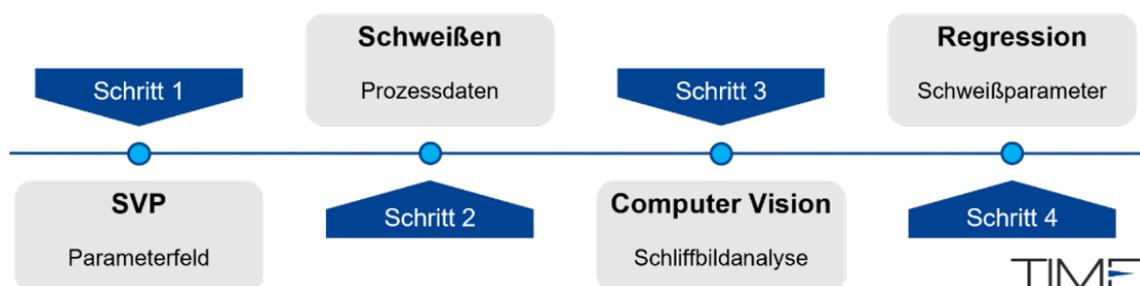


Abb. 1: Methodik zur Entwicklung der Prototypen.

Aus Gründen der Material- und Energieeffizienz sollte die Anzahl der Experimente auf ein notwendiges Minimum beschränkt werden. Um den experimentellen Umfang zu begrenzen und dennoch

aussagekräftige Ergebnisse zu erzeugen, beschränkte man sich auf den unlegierten Baustahl S235JR. Die sechs Einflussgrößen Blechdicke, Drahtvorschubgeschwindigkeit, Schweißgeschwindigkeit, elektrische Spannung, Schweißposition sowie Brenneranstellwinkel wurden im Rahmen praktischer Versuche variiert. Die Schweißungen wurden durch hochfrequente Messungen der Schweißparameter begleitet. Von jeder Schweißung wurden zudem drei Schlibfbilder erstellt, an denen die Analyse des Schweißnahtquerschnitts durchgeführt werden konnte, Abb. 2.

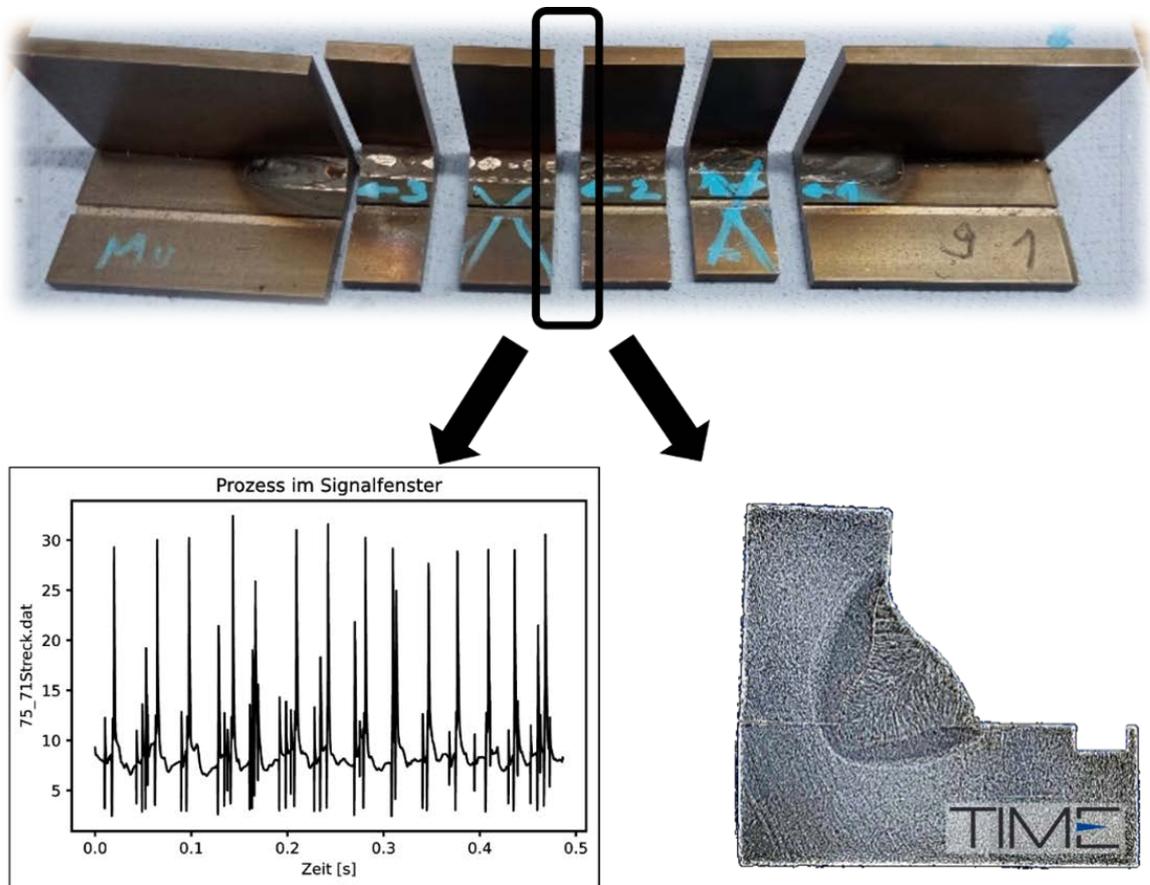


Abb. 2: Verarbeitung der zeitabhängigen Prozessdaten und der daraus resultierenden Schweißnahtgeometrie zu einem Prognosemodell für weitere Schweißnähte.

Sowohl die zeitabhängigen Prozessgrößen als auch die Geometrie des Schweißguts im Schlibfbild wurden für das Prognosemodell der Schweißparameter herangezogen. Im Anschluss an die metallografische Analyse wurden die zeitabhängigen Prozessdaten und die Bilddaten für die Entwicklung des Prognosemodells für Schweißparameter eingesetzt.

Um einen reproduzierbaren Ablauf und damit die Vergleichbarkeit der Daten untereinander zu gewährleisten, wurden die Experimente mit einem Roboter durchgeführt, Abb. 3.

Der kollaborative Roboter (Cobot) vom Typ UR10e war fest an einem Schweißstisch montiert und kommunizierte direkt mit der Schweißstromquelle. Ein hochfrequentes Messgerät des Typs Weldanalyst S3 der HKS Prozesstechnik GmbH erfasste die wahren Parameter Drahtvorschubgeschwindigkeit, elektrische Spannung, Stromstärke sowie die Schweißgeschwindigkeit zeitabhängig. Eine Schweißkamera vom Typ C300 des Herstellers Cavitar Ltd. zeichnete eine laserbeleuchtete Ansicht des Schmelzbads während des Schweißprozesses auf. Unter Verwendung einer stabilen Schweißvorrichtung erfolgte eine reproduzierbare und variable Steuerung der Schweißposition. Bei den über 200 Schweißungen konnte so ein standardisiertes Vorgehen realisiert werden. Dieses bestand aus der zeitabhängigen Schweißprozessdatenaufzeichnung, der Videoaufnahme des Schmelzbads sowie der Fertigung von je drei metallografischen Schlibfbildern an vorher definierten Positionen, Bild 2. In allen Experimenten schweißte der Cobot Kehlnähte im T-Stoß, da dies eine in der Praxis besonders oft verwendete Stoßart und Nahtgeometrie ist.

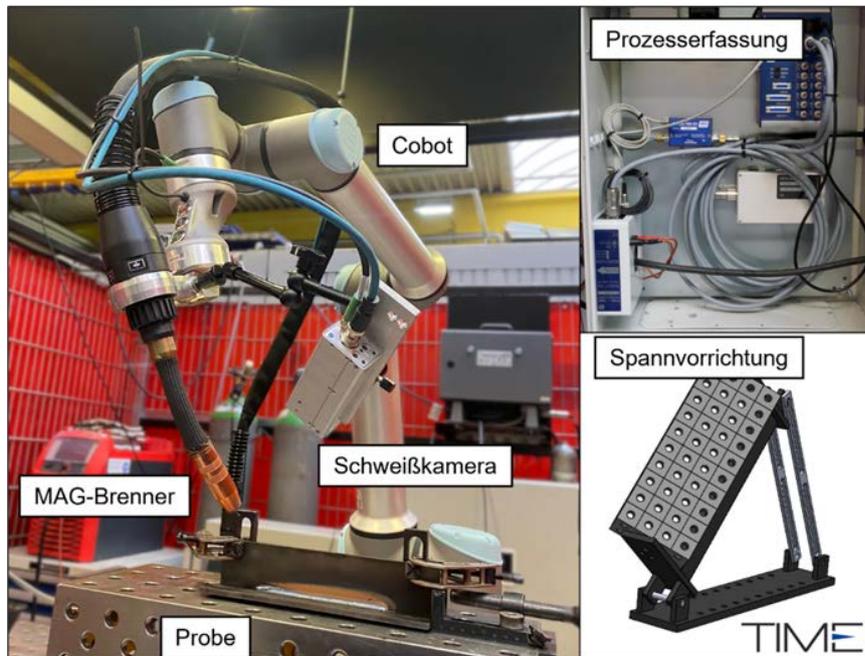


Abb. 3: Schweißversuche für das Modelltraining.

Im Anschluss an die Schweißungen erfolgte die metallografische Analyse der einzelnen Schweißversuche. Nach der Erstellung der Schliiffbilder und der Aufzeichnung der Prozessdaten mit einer festen Abtastrate musste jedem Schliiffbild ein zugehöriger Datensatz an Schweißprozessgrößen zugewiesen werden. Hierfür wurde über die Schweißgeschwindigkeit der Zeitpunkt ermittelt, der dem Ort des Schliiffbilds entsprach. Wegen der hohen Anzahl an Messpunkten pro Sekunde war eine Mittelung der Prozessgrößen über den Effektivwert in einem definierten Prozessfenster erforderlich, Bild 2. Die Schliiffbilder wurden mithilfe eines zuvor trainierten Objekterkennungsmodells und einer nachlaufenden Vermessung des lokalisierten Schweißguts mit dem Softwarepaket OpenCV [7] in eine tabellarische Struktur transformiert, die mit den Effektivwerten der Prozessgrößen in einer Datenbank gesichert abgelegt werden konnten. Auf Basis der strukturierten Daten wurde die Modellarchitektur zur Prognose der einstellbaren Schweißparameter entwickelt. Diese bestand aus zwei mehrschichtigen neuronalen Netzen aus der Keras API [8] von Tensorflow [9]. Der schematische Aufbau ist in Abb. 4 gezeigt.

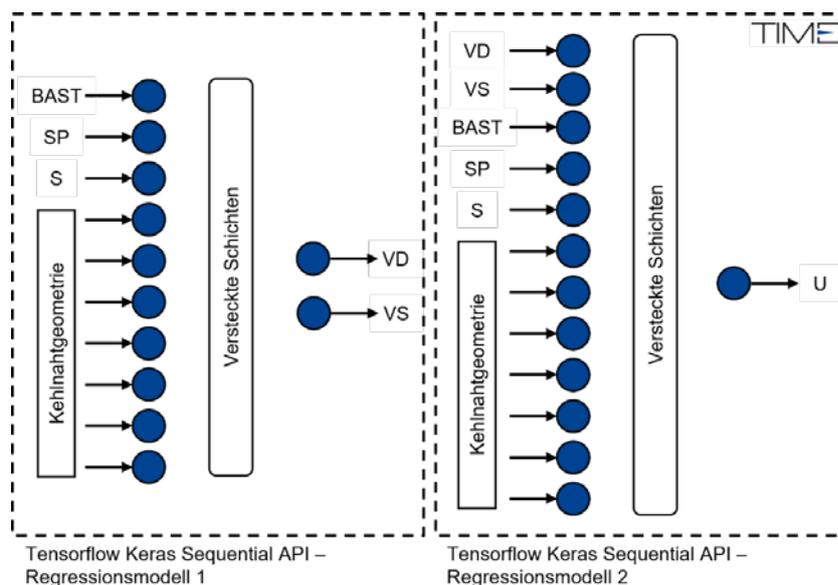


Abb. 4: Schematischer Aufbau zweier mehrschichtiger neuronaler Netze aus der Keras API [8] von Tensorflow [9].

Das erste Regressionsmodell prognostiziert die Schweißgeschwindigkeit (VS) und die Drahtvorschubgeschwindigkeit (VD) anhand konstruktiver Vorgaben der Kehlnahtgeometrie, der Blechdicke (S) sowie anwendungstechnischer Vorgaben wie dem Brenneranstellwinkel (BAST) und der Schweißposition (SP). Mit einem zweiten Regressionsmodell erfolgte im direkten Anschluss die Prognose einer dazu passenden elektrischen Spannung (U) auf Basis der erwähnten Größen sowie der vom ersten Modell prognostizierten Schweißgeschwindigkeit (VS) sowie der Drahtvorschubgeschwindigkeit (VD). Die Metriken des trainierten Modells enthält Abb. 5.

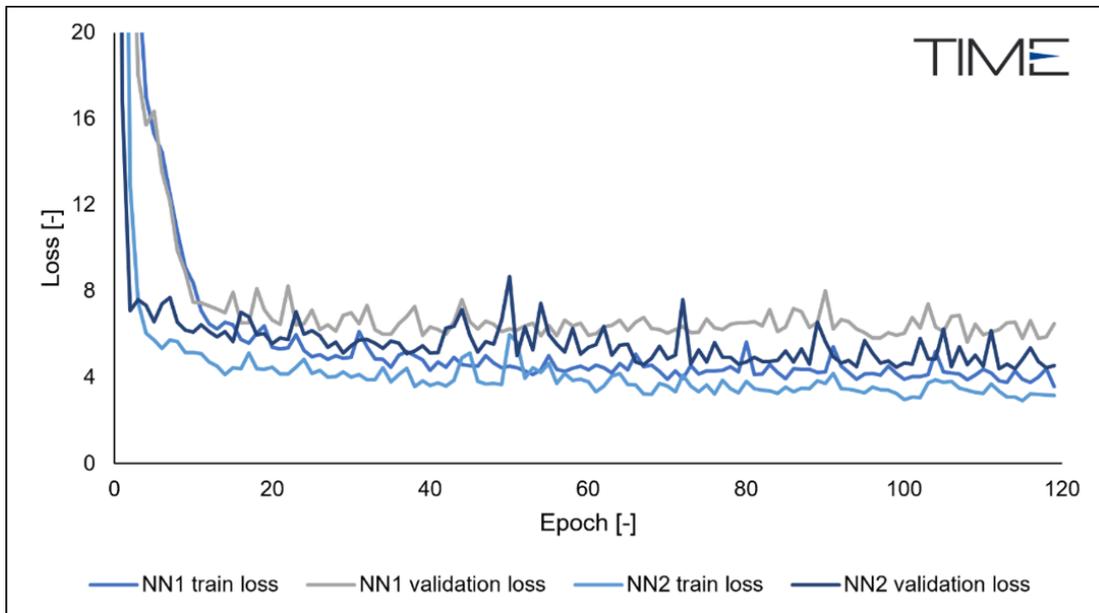


Abb. 5: Metriken des trainierten Regressionsmodells.

Durch die standardisierte Vorgehensweise in den Experimenten konnte auf effiziente Weise ein für KI-Modelle geeigneter Datensatz aus Schweißprozessdaten und Kenngrößen der metallografischen Schlibfbildanalyse entwickelt werden. Mit dieser Vorgehensweise ist eine fortlaufende Erweiterung des Datenpools möglich.

## 1.2 KI-basierte Schlibfbildanalyse

Wie dargelegt erfolgte im Anschluss an die Schweißungen eine metallografische Analyse. Um Verzerrungen der Daten resultierend aus einer subjektiven Vermessung des Schweißnahtquerschnitts vorzubeugen, wurde ein Objekterkennungsalgorithmus trainiert. Dieser ist in der Lage, die Position des Schweißguts innerhalb des Schlibfbilds zu markieren und im Anschluss Kenngrößen automatisiert zu vermessen.

Für die Segmentierung des Schweißguts im Bildmaterial wurde die Mask-R-CNN-Netzarchitektur [4] verwendet. Mit sogenanntem Transferlernen wurde das bereits auf dem COCO-Datensatz [5] vortrainierte Modell des Typs Inception Resnet v2 [6] auf die Erkennung von Schweißgut in Schlibfbildern trainiert. Das Ziel des Modells bestand darin, die Überführung der Kontur des Schweißguts im Querschnitt in eine tabellarische Struktur ohne großen Informationsverlust zu ermöglichen. Die Kontur des Schweißguts im Schlibf wird je nach betrachtetem Regelwerk durch unterschiedliche Kenngrößen charakterisiert. Daher wurde die Kontur durch die skalaren Größen Sollnahtdicke, Z-Maße, der Länge der freien Nahtoberfläche im Schlibf, der Einbrandtiefen in die Fügepartner, der gesamten Fläche des Schweißgutquerschnitts und der Fläche des Einbrands pro Fügepartner quantifiziert. Für das Training war im Vorhinein ein manuelles Labeln von Kehlnaht-Schlibfbildern erforderlich, bei dem das Schweißgut durch einen Polygonzug markiert wurde. Die dafür verwendeten Schlibfbilder entstammten nicht ausschließlich den Experimenten und konnten durch Transformationen wie Spiegelung und Drehung modifiziert werden.

Die Bilddatensätze in die Bereiche Training, Validierung und Test in einem Verhältnis von 75-15-10 aufgeteilt. In Abb. 6 ist ein Beispiel für die Segmentierung des Schweißguts mit dem trainierten Modell zu sehen. Der hier erzeugte Prototyp konnte bereits gute Ergebnisse für die Segmentierung des Schweißguts im Schliffbild liefern.

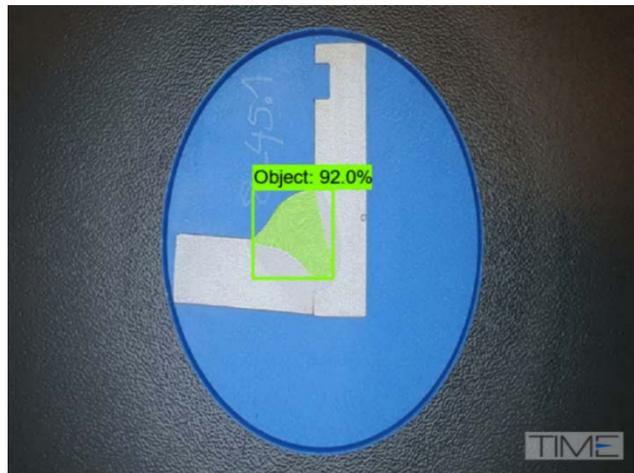


Abb. 6: Beispiel für die Segmentierung des Schweißguts am Querschliff einer MAG-Kehlnaht.

### 1.3 Zusammenfassung

In diesem Beitrag haben die Autoren am Beispiel des MAG-Schweißens von Kehl Nähten an unlegiertem Baustahl gezeigt, wie KI-Modelle in der Praxis in der Schweißtechnik eingesetzt werden können, um Kosten in der Anwendungstechnik und der Qualitätssicherung zu reduzieren.

So können mithilfe von datenbasierten Modellen die Anzahl erforderlicher Schweißversuche und die Zeit bis zur Markteinführung des Schweißbauteils reduziert werden. Die schweißtechnischen Experimente konnten mit der statistischen Versuchsplanung vorbereitet werden, um ressourceneffizient Daten für ein Prognosemodell bereitzustellen.

Die Schliffbilder wurden über Transferlernen mit Objekterkennungsalgorithmen automatisiert analysiert. Daraufhin konnten zeitabhängige Schweißprozessdaten und unstrukturierte Bilddaten in eine tabellarische Struktur skalarer Werte transformiert werden. Damit war die Entwicklung eines Prognosemodells für Einstellgrößen an der Schweißstromquelle möglich. Mit den vorgestellten Prototypen können eine Einsparung von Ressourcen, eine erleichterte Qualitätssicherung und eine Verbesserung des Schweißergebnisses ermöglicht werden.

Somit kann der im Rahmen des Projekts entwickelte Prototyp eines Tools für die schweißtechnische Prozessauslegung wertvolle Ressourcen einsparen. Auch verringert sich die Verzerrung von Analyseergebnissen durch subjektiven Prüfeinfluss.

Sowohl die Pflege der Datenbank als auch eine genaue Dokumentation der Versuchsabläufe sind wichtig zur Beurteilung der Datenqualität. In weitergehenden Analysen könnten die hier vorgestellten KI-Modelle durch Anpassung der Hyperparameter oder Variationen der Netzarchitektur optimiert werden. Die Ergebnisse sind innerhalb des durch die Versuchsplanung abgedeckten Parameterraums nur für einen Werkstoff gültig und können in zukünftigen Untersuchungen auf andere Werkstoffe übertragen werden.



## 2. Schrifttum

- [1] VDA 2012.
- [2] Umfrage des Deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. DVS in 2008).
- [3] Bitkom (2020): Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken; in ATP!Info, 11.05.2020).
- [4] He, K.; Gkioxari, G.; Dollár, P.; Girshick, R.: Mask R-CNN. In: ICCV 2017. Los Alamitos, Washington, Tokyo: CPS; IEEE Computer Society, op. 2017 (Proceedings (IEEE International Conference on Computer Vision. Online)), S. 2980-2988.
- [5] Lin, T.-Y.; Maire, M.; Belongie, S.; Bourdev, L.; Girshick, R.; Hays, J.; Perona, P.; Ramanan, D.; Zitnick, C. L.; Dollár, P.: Microsoft COCO: Common. Objects in Context. 01.05.2014
- [6] Szegedy, C.; Ioffe, S.; Vanhoucke, V.; Alemi, A.: Inception-v4, Inception-ResNet and the Impact of Residual Connections on Learning.
- [7] Dr. Dobb's Journal of Software Tools (2000).
- [8] Chollet, F. et al.: Keras. 2015.
- [9] TensorFlow Developers: TensorFlow: Zenodo, 2022.

# Wasserstoff - Eine Alternative zum Brenngas Acetylen beim Flammrichten? Stand der Entwicklung, Forschung und Anwendung

A. Vogelsang, Groß-Umstadt

Die Folien stammen aus dem gleichnamigen Vortrag der Tagung.



Folie 1

## AGENDA

1. Wasserstoff in der Autogentechnik
2. Warum Wasserstoff?
3. Vergleich Wasserstoff, Acetylen und Propan– Ergebnisse Forschung und Entwicklung
4. Arbeitssicherheit von Wasserstoff im Vergleich zu Acetylen und Propan
5. Speziell entwickeltes Produktprogramm für den Einsatz von Wasserstoff für das Wärmern und Flammrichten
6. Praktische Versuche mit Übungsstücken aus der DVS-RL 1145 und Anwendungen

Folie 2

## GESCHICHTE DIE WIEDERENTDECKUNG VON WASSERSTOFF ALS BRENNGAS

Mehr als 100 Jahre Erfahrung!



THE MESSER  
EXPERIENCE

MESSER  
Cutting Systems

Folie 3

## WARUM WASSERSTOFF? WASSERSTOFF ALS NACHHALTIGE BRENNGAS ALTERNATIVE

### Ziele und Chancen

- Reduzierung des CO<sub>2</sub> Fußabdrucks
- Wachsendes Umweltbewusstsein
- Energieeinsparung
- Verbesserung beim Gesundheitsschutz und der Arbeitssicherheit



THE MESSER  
EXPERIENCE

MESSER  
Cutting Systems

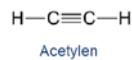
Folie 4

## VORTEILE VON WASSERSTOFF IN DER AUTOGENTECHNIK CO<sub>2</sub> – EMISSIONSVERGLEICH

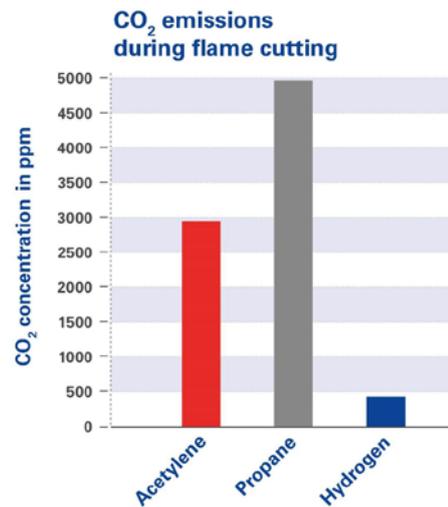
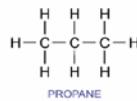
- Wasserstoff hat kein Kohlenstoffatom



- Ca. 6-fach geringer CO<sub>2</sub> Emission im Vergleich zu Acetylen



- Ca. 10-fach geringer CO<sub>2</sub> Emission im Vergleich zu Propan



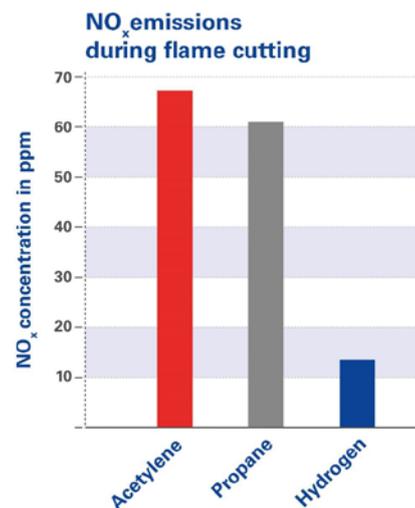
THE MESSER  
EXPERIENCE

MESSER  
Cutting Systems

Folie 5

## VORTEILE VON WASSERSTOFF IN DER AUTOGENTECHNIK EMISSIONSVERGLEICH STICKSTOFFOXYDE

- Bis zu 75% geringere NO<sub>x</sub> Emission im Vergleich zu Acetylen



THE MESSER  
EXPERIENCE

MESSER  
Cutting Systems

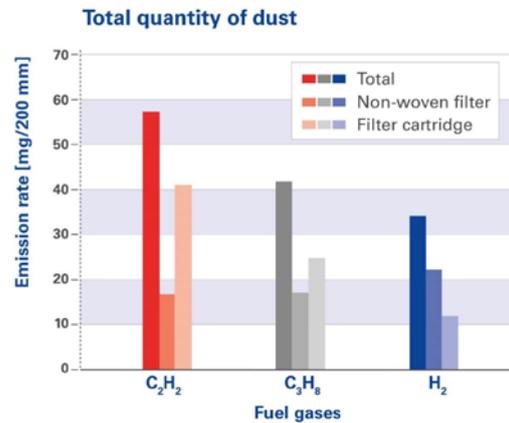
Folie 6

## VORTEILE VON WASSERSTOFF IN DER AUTOGENTECHNIK VERGLEICH DER FEINSTAUB EMISSIONEN

Fleece-Filter: Partikel > 0,6 µm

Filter-Kartusche: Partikel > 20 µm

Signifikante Reduzierung der Feinstaubbelastung bei der Verwendung von Wasserstoff im Vergleich zu Acetylen und Propan



THE MESSER  
EXPERIENCE

**MESSER**  
Cutting Systems

Folie 7

## VORTEILE VON WASSERSTOFF IN DER AUTOGENTECHNIK KÜRZERE ANHEIZZEITEN

Versuche der Uni Hannover ergaben einen höheren Wärmeeintrag von Wasserstoff im Vergleich zu Acetylen und Propan

- Dadurch schnellere Anheiz-/ kürzere Wärmzeiten
- Eng eingrenzter Wärmebereich



THE MESSER  
EXPERIENCE

**MESSER**  
Cutting Systems

Folie 8

## VOORTEILE VON WASSERSTOFF IN DER AUTOGENECHANIK GERÄUSCHPEGEL, LICHT UND LEISTUNG

- Geringerer Geräuschpegel  
(3-10 dB Abhängig von der Anwendung)
- Analyse der Spektralfarben der Flamme ergaben  
keine gesundheitsschädlichen Komponenten!
- Hohe Schnittgeschwindigkeit und sehr kurze Anheizzeiten  
im Vergleich zu Propan und Acetylen
- Komprimiertes Gas, daher hohe Entnahmemengen aus einer  
Einzelflasche möglich im Vergleich zu Propan und Acetylen



Folie 9

## VERGLEICH DER FLAMMENCHARAKTERISTIK FLAMMENEINSTELLUNG

Transparente Primärflamme

- Herausforderung bei der Flammeneinstellung
- Deutlich einfachere Wärmeführung
- Unterweisung und Schulung erforderlich

Bei Acetylen erfolgt die Flammeneinstellung über die  
Primärflamme

- Bei Wasserstoff sind es andere Parameter  
z.B. Abstand der Flamme zur Düse, Farbe des  
Flammenkegels



Folie 10

## VERGLEICH VON BRENNGASEN SICHERHEIT BEI DER VERWENDUNG VON WASSERSTOFF

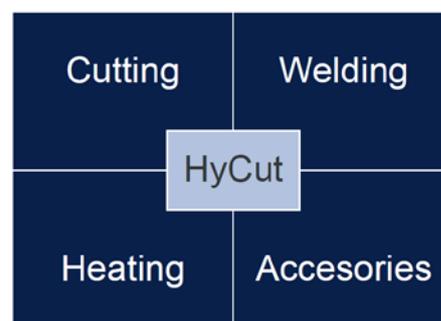
Characteristics	Hydrogen	Acetylene	Propane
Density	0,089 kg/m <sup>3</sup>	1,1772 kg/m <sup>3</sup>	2,01 kg/m <sup>3</sup>
Explosion range			
- With oxygen	4-95%	2.4-93%	2-55%
- With air	4-76%	2.4-80%	2-10%
Ignition temperature -			
With oxygen	560°C	305°C	470°C
- With air	585°C	335°C	510°C
Compressibility	Up to 300bar (1,1kg) in gas cylinder possible	Up to 10kg (9,09 Nm <sup>3</sup> /h) per cylinder	Up to 33kg per cylinder
Storage in gas cylinder	No solvent required	Acetone required to dissolve Acetylene	Liquid gas
Extraction volume	Not limited	<15 min: app. 1000 l/h <25 min: app. 700 l/h >25min: app. 500 l/h	<15 min: 990 to 1485 l/h <25 min: 790 to 1120 l/h >25min: 590 to 750 l/h

THE MESSER  
EXPERIENCE

MESSER  
Cutting Systems

Folie 11

## WASSERSTOFF – EINE EFFIZIENTE BRENNGAS ALTERNATIVE AUTOGENPRODUKTE FÜR DEN EINSATZ VON WASSERSTOFF



THE MESSER  
EXPERIENCE

MESSER  
Cutting Systems

Folie 12

## HYCUT PRODUKT LINIE SCHWEISSEN, WÄRMEN UND FLAMMRICHTEN

Schweiß-Wärmeinsatz Z-H

- Größe 1-10

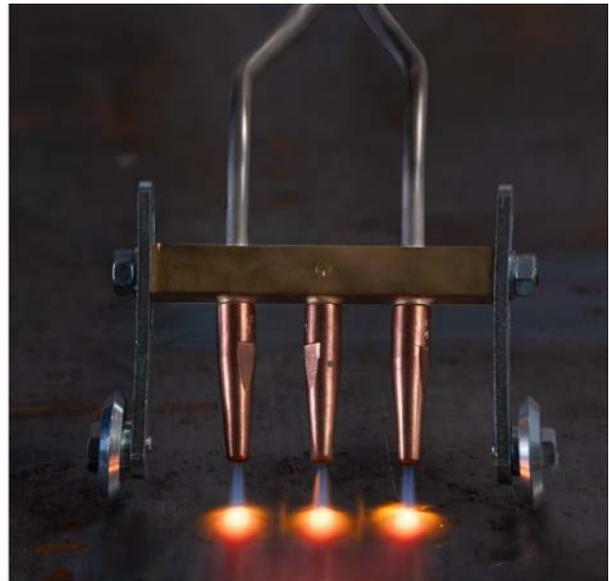


Wärmeinsätze F-H und FB-H

- F-H Größe 3,4,6
- FB-H Größe 5-10



Flammricht Einsatz



THE MESSER  
EXPERIENCE

**MESSER**  
Cutting Systems

Folie 13

## HYCUT PRODUKT LINIE ZUBEHÖR

- Druckregler
- Sicherheitseinrichtungen für die Verwendung von Wasserstoff
- Allbrenngas Schläuche (Trelleborg)  
→ Aktuell der einzige verfügbare Schlauch für Wasserstoff gemäß DIN EN ISO 3821

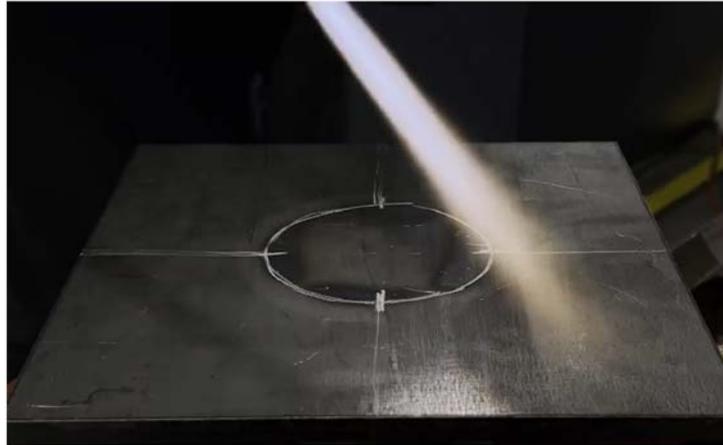


THE MESSER  
EXPERIENCE

**MESSER**  
Cutting Systems

Folie 14

**PRAKTISCHE ANWENDUNG**  
**ÜBUNGSTÜCKE KOPF/FUßPLATTE 10 MM AUS DVS-RL 1145**  
 Flammrichten

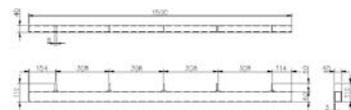
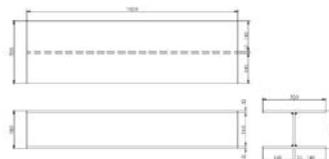
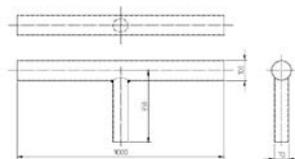


THE MESSER  
**EXPERIENCE**

**MESSER**  
 Cutting Systems

Folie 15

**PRAKTISCHE ANWENDUNG**  
**VERGLEICH DER ERGEBNISSE ÜBUNGSTÜCKE DVS-RL 1145**  
 Flammrichten

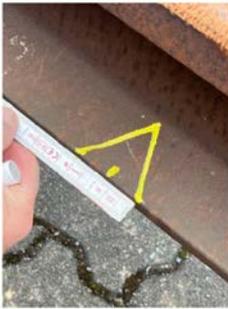


THE MESSER  
**EXPERIENCE**

**MESSER**  
 Cutting Systems

Folie 16

## PRAKTISCHE ANWENDUNG SCHIENEN- UND WEICHENINSTANDSETZUNG Flammrichten



THE MESSER  
**EXPERIENCE**

**MESSER**  
Cutting Systems

Folie 17

**MESSER**  
Cutting Systems

**VIELEN DANK  
FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT**

Your Contact Person

**Axel Vogelsang**

Manager Strategic Business Development OBU

Mail [axel.vogelsang@messer-cutting.com](mailto:axel.vogelsang@messer-cutting.com)

Phone +49 6078 787 - 224

THE MESSER  
**EXPERIENCE**

Folie 18



# Betker & König

GmbH

INDUSTRIE- UND SCHWEIßFACHHANDEL

SCHWEIßTECHNIK | ARBEITSSCHUTZ | WERKZEUGE | SERVICE

Shop...

Shop...

Shop...

Shop...

...überall nur noch Onlineshop,  
wo man auch hinsieht!

Sie haben schon lange keinen Außendienst mehr gesehen?  
Ihnen fehlt die persönliche Betreuung vor Ort?  
Dann kontaktieren Sie uns, wir unterstützen und beraten Sie gern  
vor Ort in Ihrem Unternehmen, oder in unseren Räumlichkeiten.  
Profitieren Sie von 32 Jahren Erfahrung in zweiter Generation.



**Torsten König**  
Geschäftsführung



**Andreas Betker**  
Geschäftsführung



**Torsten Gebuhr**  
Außendienst



**Sebastian Jakob**  
Außendienst



**Torsten Komm**  
Außendienst

Wir betreuen Sie gern vor Ort.

Betker & König GmbH

Silberbergweg 11  
39128 Magdeburg

Telefon: (03 91) 66 27 46 0

Telefax: (03 91) 66 27 46 10

E-Mail: [bk@betkerundkoenig.de](mailto:bk@betkerundkoenig.de)

Internet: [www.betkerundkoenig.de](http://www.betkerundkoenig.de)

# QUALITÄT schweißt zusammen

## Schweißen mit EWM heißt:

### Modernste Schweißtechnik, optimale Anwendbarkeit und beste Resultate.

EWM-Schweißgeräte ermöglichen einen technologischen Vorsprung bei allen Schweißverfahren, der sich durch eine hohe Effizienz, Ressourcenschonung sowie auch Nachhaltigkeit beim Schweißen auszeichnet.

Mit welchem Verfahren Sie auch schweißen, ob Sie MIG-MAG-, Elektroden-, Plasma- oder WIG-Schweißgeräte benötigen, dank des EWM-Produktprogramms an hochwertiger Schweißtechnik bleiben keine Wünsche offen.

Damit Sie aus der großen Palette leistungsstarker **Profi-Schweißgeräte** problemlos das richtige Modell auswählen können, haben wir unseren neuen EWM-Produktkonfigurator ins Leben gerufen. Denn mit dem idealen Schweißgerät ist es wie mit der großen Liebe: Man muss es erst einmal finden.

Sprechen Sie uns an und vereinbaren Sie einen kostenfreien Vorführtermin mit unserem Anwendungstechniker.

 (03 91) 66 27 46 0

 [bk@betkerundkoenig.de](mailto:bk@betkerundkoenig.de)



# Kalibrieren, Validieren und Verifizieren in der Schweißtechnik - warum und wie muss überwacht werden? Anforderungen aus der Qualitätssicherung und aus den Produktnormen

J. W. Mußmann, Meerbusch

---

*Das Thema der Kalibrierung und Validierung geht zurück in die Anfänge der DIN EN ISO 9001 im Jahre 1994. Dort sprach man noch von der Prüfmittelüberwachung. In den Folgeausgaben der Jahre 2000 und 2008 wurde in ISO 9001 von der „Lenkung von Überwachungs- und Messmitteln“ gesprochen. Soweit zur Sicherstellung gültiger Ergebnisse erforderlich, mussten die Messmittel in festgelegten Abständen oder vor dem Gebrauch anhand von Messnormalen, die auf internationale oder nationale Messnormale zurückgeführt werden konnten, kalibriert und/oder verifiziert werden. Bei Bedarf musste/konnte justiert oder nachjustiert werden. Messmittel waren zu kennzeichnen, damit der Kalibrierstatus erkennbar war. In DIN EN ISO 9001:2015 spricht die Norm von „Ressourcen zur Überwachung und Messung“ [1]. Ziel ist die Sicherstellung von gültigen und zuverlässigen Überwachungs- und Messergebnissen, um die Übereinstimmung von Produkten mit den Anforderungen nachweisen zu können. Doch für die Schweißtechnik und schweißtechnische Fertigung sind diese Hinweise zu allgemein.*

## 1. Qualitäts-Anforderungen nach DIN EN ISO 3834

In der Schweißtechnik hat sich zur Beschreibung von Qualitätsanforderungen die DIN EN ISO 3834-Reihe etabliert. Diese Norm beschreibt ganz gezielt die QS-Anforderungen an durch Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen herzustellenden Produkte und geht im Detail weit über ISO 9001 hinaus, ersetzt aber nicht die Norm für ein Qualitätsmanagement, sondern unterstützt eine ISO 9001, wo es um Schweißen geht.

Die verschiedenen Schmelzschweißverfahren nehmen eine Schlüsselstellung in der Produktion ein. Die Bandbreite der Produkte geht von einfach bis komplex. Stahltragwerke mit ihren vier verschiedenen Ausführungsklassen (EXC) nach DIN EN 1090-1 und -2, unbefeuerte Druckbehälter nach DIN EN 13445, Rohrleitungen nach DIN EN 13480, Dampfkessel nach DIN EN 12952 und DIN EN 12953 seien hier nur beispielhaft auch immer in Bezug mit den vielfältigen Werkstoffen genannt. Die bei der Fertigung eingesetzten Schweißverfahren üben einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Erzeugnisses aus. Daher ist es wichtig, sicherzustellen, dass diese Schweißverfahren nachvollziehbar ausgeführt werden und dass für die relevanten Vorgänge geeignete Überwachungen vorgesehen werden.

Die Festschreibung von Parametern für Schweißverfahren ist deshalb wichtig, weil die (produzierte innere) Qualität dieser Prozesse nicht ohne weiteres bestätigt werden kann. Eine Aussage über die erzielte Zähigkeit einer Schweißverbindung ist ohne eine Probenentnahme und einer damit verbundenen Zerstörung des Bauteils nicht möglich. Nach ISO 9000:2005 „Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe“ ist Schweißen ein sogenannter „spezieller Prozess“. Ein Prozess im Sinne dieser ISO 9000 ist ein Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt. Ein Schmelzschweißverfahren ist somit eine Tätigkeit, die Vorgaben aus einer Schweißanweisung (WPS) in eine fertige Schweißverbindung umsetzt. Insofern stimmt der Satz aus ISO 3834 „Qualität kann nicht in ein Erzeugnis hineingeprüft, sondern muss in ihm erzeugt werden. Selbst die umfassendste und höchstentwickelte zerstörungsfreie Prüfung verbessert nicht die Qualität der Schweißungen.“

## 2. Differenzierte Anwendung von DIN EN ISO 3834

Die Normreihe DIN EN ISO 3834 „Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen“ besteht aus mehreren Teilen:

- Teil 1: Kriterien für die Auswahl der geeigneten Stufe der Qualitätsanforderungen;
- Teil 2: Umfassende Qualitätsanforderungen;
- Teil 3: Standard-Qualitätsanforderungen;
- Teil 4: Elementare Qualitätsanforderungen;
- Teil 5: Dokumente, deren Anforderungen erfüllt werden müssen, um die Übereinstimmung mit den Anforderungen nach ISO 3834-2, ISO 3834-3 oder ISO 3834-4 nachzuweisen;
- Teil 6: Leitfaden für die Einführung von ISO 3834.

In diesen gestuften QS-Anforderungen der Teile 2, 3 und 4 wird die Kalibrierung und Validierung der Mess-, Überwachungs- und Prüfgeräte in unterschiedlicher Tiefe gefordert. Bei der umfassenden Qualitätsanforderung wird die Kalibrierung und Validierung gefordert, bei der Standard-QS kann die Kalibrierung und Validierung gefordert werden und bei der Elementaren QS gibt es keine speziellen Anforderungen.

Die Anwendung der verschiedenen Teile von DIN EN ISO 3834 kann über Verträge, eine Spezifikation, eine Produktnorm oder über eine gesetzliche Bestimmung festgeschrieben werden. Meist ist jedoch die Anwendung eines Teils von DIN EN ISO 3834 über die Produktnorm verpflichtend.

## 1.2 Erfüllung von DIN EN ISO 3834

Je nach Anwendung der Teile 2, 3 oder 4 ergibt sich die Verpflichtung zur Kalibrierung und Validierung. Wie und mit welchen Regelwerken diese Überprüfung erfolgen kann, wird über die Tabelle 9 des Teils 5 [2] beschreiben.

*Tabelle 1: DIN EN ISO 3834-5, Tabelle 9 – Kalibrierung und Validierung von Mess-, Überwachungs- und Prüfeinrichtungen.*

**Tabelle 9 — Kalibrierung und Validierung von Mess-, Überwachungs- und Prüfeinrichtungen**

Schweißprozess	ISO-Dokumente	Unterabschnitt in ISO 3834-2:2021	Unterabschnitt in ISO 3834-3:2021	Unterabschnitt in ISO 3834-4:2021
Lichtbogenschweißen	ISO 17662	16	16	keiner
Elektronenstrahl-schweißen				
Laserstrahlschweißen und Laser-Lichtbogen-Hybridschweißen				
Gasschweißen				

Hier findet sich der Verweis auf ISO 17662 „Schweißen - Kalibrierung, Verifizierung und Validierung von Einrichtungen einschließlich ergänzender Tätigkeiten, die beim Schweißen verwendet werden“. Durch Anwendung dieser Norm weist der Hersteller die Übereinstimmung (Erfüllung) mit den Qualitätsanforderungen nach.

DIN EN ISO 3834-2:2021 Abschnitt 16 fordert: „Der Hersteller ist verantwortlich für eine geeignete Kalibrierung oder Validierung der Mess-, Überwachungs- oder Prüfeinrichtungen. Alle Mess-, Überwachungs- und Prüfeinrichtungen, die der Ermittlung der Qualität der Konstruktion dienen, müssen in geeigneter Weise kontrolliert und in vorgeschriebenen Zeiträumen validiert oder kalibriert werden.“

*Die Übereinstimmung mit den Festlegungen des Schweißverfahrens muss durch validierte Mess-, Überwachungs- und Prüfeinrichtungen überprüft werden. Die Kalibrierung oder Validierung von Schweißeinrichtungen entbindet den Hersteller nicht von der Verantwortung nachzuweisen, dass nach WPS gearbeitet wird. DIN EN ISO 3834-2:2021-08*

„Die Dokumente, denen entsprochen werden muss, um die Qualitätsanforderungen zu erfüllen, sind festgelegt in:

- ISO 3834-5:—, Tabelle 9, für das Lichtbogenschweißen, Elektronenstrahlschweißen, Laserstrahlschweißen und Gasschweißen; und
- ISO 3834-5:—, Tabelle 10, für andere Schmelzschweißprozesse.“

DIN EN ISO 3834-3:2021 Abschnitt 16 fordert: „Der Hersteller ist verantwortlich für eine geeignete Kalibrierung oder Validierung der Mess-, Überwachungs- oder Prüfeinrichtungen.

Die Einhaltung der Schweißanweisung ist durch den Einsatz von validierten Mess-, Überwachungs- und Prüfeinrichtungen nachzuweisen. Die Kalibrierung oder Validierung von Schweißeinrichtungen entbindet den Hersteller nicht von der Verantwortung, nachzuweisen, dass nach WPS gearbeitet wird.

Die Dokumente, denen entsprochen werden muss, um die Qualitätsanforderungen zu erfüllen, sind festgelegt in:

- ISO 3834-5:—, Tabelle 9, für das Lichtbogenschweißen, Elektronenstrahlschweißen, Laserstrahlschweißen und Gasschweißen, und
- ISO 3834-5:—, Tabelle 10, für andere Schmelzschweißprozesse.“

In der Vorgängerausgabe von Teil 3 „Standard-Qualitätsanforderungen“ von 2007 wurde nicht automatisch eine Kalibrierung / Validierung, sondern nur, wenn diese zusätzlich spezifiziert ist. Dieser Punkt wurde in der Ausgabe 2021 verschärft.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass in der Neuausgabe von DIN EN ISO 3834-1:2022 im informativen Anhang unter der laufenden Nummer 19 „Kalibrierung oder Validierung der Mess-, Überwachungs- und Prüfgeräte“ bei ISO 3834-3 noch „falls gefordert“ steht, statt wie richtig, in Übereinstimmung mit DIN EN ISO 3834-2:2021 „wird gefordert“. Hier erfolgt sicherlich bald eine Korrektur.

## **2. Welche Anforderungen stellen Produktnormen?**

### **2.1 DIN EN 13480 – Metallische industrielle Rohrleitungen**

In DIN EN 13480 Teil 5 „Fertigung und Verlegung“ wird in Abschnitt 5.2.6 gefordert: „Der Hersteller und/oder der Errichter muss die Anforderungen von EN ISO 3834-3 erfüllen.“ An keiner weiteren Stelle wird aber die Kalibrierung und Validierung z. B. von Schweißeinrichtungen gefordert.

Abschnitt 9.14.2 Einrichtung (für die Wärmenachbehandlung) steht lediglich: „Die Einrichtung für die Wärmebehandlung, Überwachung und Aufzeichnung des Zeit-Temperatur-Verlaufs muss für die betreffende Wärmebehandlung geeignet sein.“ Auch hier ist keine Forderung nach einer Kalibrierung/Validierung der Temperaturmessschreiber oder der Regelkette zu finden.

Letztlich nur über die Verarbeitung der Werkstoffe und die engen Grenzen bei der Wärmenachbehandlung leitet sich für den Hersteller eine eigenverantwortliche geeignete Kalibrierung und Validierung ab.

Im Teil 5 „Prüfung“ findet sich im Abschnitt 9.3 „Druckprüfung“ die Forderung, dass alle anzeigenden und aufzeichnenden Messgeräte nach einer anerkannten Norm zu kalibrieren sind.

### **2.2 DIN EN 13445 – Unbefeuerte Behälter**

Nach DIN EN 13445 Teil 4 „Herstellung“ Abschnitt 3.1 e) „Anforderungen an den Hersteller und Vergabe an Unterauftragnehmer“ hat der Hersteller EN 3834-3 als Mindestanforderung zu erfüllen.

Nach Abschnitt 8 „Herstellung und Prüfung von Schweißnähten - Arbeitsprüfungen“ wird unter Wickel c) bezüglich der Arbeitsprüfungen in der Werkstoffgruppe 1.1 auf zusätzliche Probenplatten für Arbeitsprüfungen verzichtet, wenn Qualitätsanforderungen nach EN ISO 3834-2 bzw. EN ISO 3834-3 erfüllt sind. Inwieweit nun eine Kalibrierung/Validierung erforderlich ist, bleibt offen.

Im Teil 5 von DIN EN 13445 „Inspektion und Prüfung“ gibt es jedoch einen Abschnitt 9 „Kalibrierung“, der fordert, dass für die Abnahme eines Druckbehälters verwendete Mess- und Prüfgeräte kalibriert sein müssen. Dies umfasst somit Geometriemesswerkzeuge (Maßstäbe, Maßbänder, Messschieber) und Messgeräte für die Druckprüfung (Manometer) sowie Zugprüfmaschinen, Pendelschlagwerke für den Kerbschlagbiegeversuch und Härteprüfgeräte.

Ob die anderen im Abschnitt 9.1 genannten Geräte wie Temperaturmessgeräte, Zeit-Temperaturmessschreiber (für die Wärmenachbehandlung) und Anzeigen in Schweißstromquellen dazu gehören, ist nicht eindeutig, da dies keine Mess- und Prüfgeräte für die Abnahme sind.

### **2.3 DIN EN 12952 – Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten**

In DIN EN 12952 Teil 4 „Verarbeitung und Bauausführung“ im informativen (!) Anhang F „Leitfaden für die Feststellung der Befähigung von Kesselherstellern“ dient im Abschnitt F1 „Allgemeines“ EN ISO 3834-2 lediglich als Grundlage eben für diese Beurteilung.

Im Abschnitt F.4 „Anforderungen hinsichtlich der Befähigung des Herstellers“ steht dagegen, dass grundlegende Anforderungen in EN ISO 3834-2 und EN ISO 3834-3 enthalten sind.

Da diese „Anforderungen“ jedoch in einem informativen Anhang stehen, besteht rein normtechnisch keine Verpflichtung zur Erfüllung von DIN EN ISO 3834 und damit der Kalibrierung/Validierung. Auch hier bleibt es letztlich in der Verantwortung des Herstellers in Abhängigkeit der zu verarbeitenden Werkstoffe und ihrer engen Verarbeitungsgrenzen, die Einrichtungen festzulegen, die einer Überwachung unterliegen sollen.

Im Teil 5 „Verarbeitung und Bauausführung für drucktragende Kesselteile“ Abschnitt 10.4 „Wärmebehandlung nach dem Schweißen“ gibt es die Forderung, dass die Temperaturlaufzeichnungsgeräte in einem Kalibrierprogramm enthalten sein müssen.

Im Teil 6 „Prüfung während der Fertigung, Dokumentation und Kennzeichnung für drucktragende Kesselteile“ nach Abschnitt 4.4 „Kalibrierung von Prüfmitteln“ muss der Hersteller Verfahren festlegen, dass Werkzeuge, Lehre, Instrumente sowie andere Prüf- und Meßgeräte, die in der Fertigung und bei der Prüfung der Kesselbauteile mit Einfluss auf die Produktqualität eingesetzt werden, regelmäßig zu prüfen, kalibrieren und zu justieren sind.

### **2.4 DIN EN 12953 – Großwasserraumkessel**

In der Reihe DIN EN 12953 „Großwasserraumkessel“ gibt es keinerlei Hinweis auf die Normreihe EN ISO 3834 und damit auf die Notwendigkeit des Kalibrierens / Validierens von Einrichtungen.

Im Teil 5 „Prüfung während der Fertigung, Dokumentation und Kennzeichnung für drucktragende Kesselteile“ Abschnitt 5.3 „Kalibrierung von Prüfmitteln“ ist (wie in DIN EN 12952 Teil 6 festgeschrieben), dass Werkzeuge, Lehre, Instrumente sowie andere Prüf- und Meßgeräte, die in der Fertigung und bei der Prüfung der Kesselbauteile mit Einfluss auf die Produktqualität eingesetzt werden, regelmäßig zu prüfen, zu kalibrieren und zu justieren sind.

## 2.5 AD 2000 - Regelwerk

Für die Herstellung von Druckbehältern und Druckbehälterteilen kann auch noch das AD 2000 – Regelwerk herangezogen werden. Voraussetzung für eine Herstellung ist das Erfüllen der Forderungen aus dem Merkblatt AD 2000 HP 0. Nach Abschnitt 3 „Voraussetzungen“ muss der Hersteller die Standard-Qualitätsanforderung nach DIN EN ISO 3834-3 erfüllen. Soweit ist eine Kalibrierung/Validierung nach der neuen DIN EN ISO 3834-3:2021 jetzt gefordert.

Lediglich im Merkblatt AD 2000 HP 7/1 „Wärmebehandlung – Allgemeine Grundsätze“ findet sich in Abschnitt 2.3 der Hinweis, dass Temperaturmesseinrichtungen in regelmäßigen Zeitabständen zu überprüfen sind und über die Prüfung Protokolle zu führen sind.

## 2.6 DIN EN 1090-2 – Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken

DIN EN 1090-2 fordert in Abschnitt 7.1 „Schweißen“, dass das Schweißen in Übereinstimmung mit den Anforderungen des maßgebenden Teils von EN ISO 3834 durchzuführen ist. Je nach Ausführungsklasse gelten die folgenden Teile von EN ISO 3834:

- EXC1: Teil 4 „Elementare Qualitätsanforderungen“;
- EXC2: Teil 3 „Standard-Qualitätsanforderungen“;
- EXC3 und EXC4: Teil 2 „Umfassende Qualitätsanforderungen“.

Insofern ist bei der Herstellung von Stahltragwerken nur beim Schweißen in den Ausführungsklassen 3 und 4 über EN ISO 3834 eine Kalibrierung von Einrichtungen erforderlich.

## 3. DIN EN ISO 17662:2016

Die erste Ausgabe von DIN EN ISO 17662 „Schweißen - Kalibrierung, Verifizierung und Validierung von Einrichtungen einschließlich ergänzender Tätigkeiten, die beim Schweißen verwendet werden“, erschien 2005. Diese Norm, wie auch ihre Nachfolgeausgabe von 2016 [3], legt die Anforderungen an die Kalibrierungen, Verifizierung und Validierung für Einrichtungen fest, die zur Überwachung während der Fertigung an die Einflussgrößen des Prozesses sowie an die Eigenschaften der Einrichtungen gestellt werden, die zum Schweißen und den verwandten Prozessen benutzt werden. Wenn die durch Schweißen erzielten Ergebnisse nicht einfach oder wirtschaftlich durch nachfolgende Nachweise, Überwachungen und Prüfungen dokumentiert werden können, müssen eben die dazu benutzten Einrichtungen überwacht werden. Dies berücksichtigt die Einflussgrößen der eingesetzten Prozesse, die auf die Gebrauchseigenschaften und besonders auf die Sicherheit des hergestellten Erzeugnisses einwirken.

Gegenüber der Vorgänger-Norm DIN EN ISO 17662:2005-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 2 "Normative Verweisungen" und Abschnitt "Literaturhinweise" aktualisiert;
- b) Abschnitt 3 "Begriffe" an den ISO/IEC Guide 99:2007 angepasst;
- c) Ordnungsnummern der Prozesse an DIN EN ISO 4063:2011-03 angepasst;
- d) Tabelle 11 "Elektrische Einflussgrößen" um die Anforderung eines Wirkleistungsmessgerätes ergänzt;
- e) Tabelle 25 "Hubzündungs-Bolzenschweißen" bezüglich der Anforderung zur Validierung des Hubes erweitert;
- f) Unterabschnitte 14.2 und 14.3 zum manuellen und mechanischen Flammhartlöten zusammengefasst;
- g) Tabelle 45 (neu Tabelle 44) "Temperaturmessung" überarbeitet.

Diese Internationale Norm legt die Anforderungen an die Kalibrierung, Verifizierung und Validierung von Einrichtungen fest, die verwendet werden, um während der Fertigung die Prozessgrößen und die Eigenschaften der beim Schweißen oder bei verwandten Prozessen verwendeten Einrichtungen zu überwachen. In 45 Tabellen werden dabei Tätigkeiten und Einrichtungen aufgeführt und Hinweise gegeben.

Schlussbemerkung: ISO 17662 wurde in den letzten 2 Jahren einer kleinen Revision bezüglich der Tabellen 25 und 26 zum Lichtbogenbolzenschweißen unterzogen. Weiterhin wurde in den Tabellen 11 und 12 die bisherige EN 50504 durch IEC 60974-14 ersetzt.

Am 25.10.2022 beschloss ISO/TC44/SC10 das ISO/AWI 17662 „Welding — Calibration, verification and validation of equipment used for welding, including ancillary activities“ zum DIS-vote freizugeben. Die endgültige neue Ausgabe dürfte Anfang 2024 erscheinen.

#### **4. Forderungen an Mess-, Überwachungs- und Prüfeinrichtungen**

Wenn in der Schweißtechnik über Kalibrierung / Validierung gesprochen wird, ist hiermit die Prüf- und Messmittelüberwachung der Einrichtungen gemeint, mit denen eine Inspektion, eine Prüfung oder der Messung der geschweißten Endprodukte durchgeführt wurde, um die Übereinstimmung des Produkts mit den Anforderungen aus einer Produktnorm zu bestätigen.

Der Inhalt der DIN EN ISO 17662 ist beschränkt auf die Kalibrierung, Verifizierung und Validierung der Einrichtungen nach der Installation als Teil der Werkstattauslegung. Sie gilt weder für die Herstellung noch die Installation der Schweißeinrichtungen. Die Anforderungen an neue Einrichtungen, z. B. Stromquellen, sind gegebenenfalls in Richtlinien und Normen z. B. DIN EN IEC 60974-14 „Lichtbogenschweißeinrichtungen – Teil 14: Leistungsüberprüfung festgelegt“.

Die speziellen Anforderungen an eine Kalibrierung, Verifizierung und Validierung von den einzelnen Mess-, Überwachungs- und Prüfeinrichtungen müssen vom Hersteller aus der geforderten Genauigkeit abgeleitet werden und mit dem zulässigen Bereich übereinstimmen, der für das Produkt eine Genauigkeit vorgibt. Hersteller ist in diesem Fall der schweißtechnische Fertigungsbetrieb. Der Hersteller beschreibt in der Schweißanweisung (WPS) die in Betracht kommende(n) Prozessgröße(n), mit denen eine reproduzierbare Schweißnahtqualität in Bezug auf die zugrunde gelegte Schweißverfahrensprüfung erzielt werden kann.

Viele bei der Kontrolle des Schweißens verwendete Geräte, wie Amperemeter, Voltmeter, Längenmaßstäbe, Thermolemente, Stoppuhren usw., werden auch für andere Zwecke außerhalb der Schweißtechnik eingesetzt. Es muss daher vom Hersteller beachtet werden, dass die Anforderungen an die Genauigkeit, wenn sie für schweißtechnische Zwecke angewendet werden, weniger streng sein können als bei anderen Anwendungen der Geräte. „Normale“ (genormte) Verfahren für die Kalibrierung, Verifizierung und Validierung könnten zu streng und zu aufwändig sein, wenn sie für schweißtechnische Zwecke angewendet werden. Das heißt, der Hersteller muss die Genauigkeiten für eine Kalibrierung / Validierung festlegen.

Die Merkblattreihe „VDI/VDE/DGQ/DKD 2618 – Reihe zur Prüfmittelüberwachung“ gibt einen guten Überblick an die scharfen Anforderungen an zu überprüfende Meßmittel, wenn wirklich kalibriert werden soll. Da lohnt sich ein Blick z.B. in das Blatt 9.1 Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Messschieber für Außen-, Innen- und Tiefenmaße“ welches neben den engen Toleranzwerten auch ermöglicht auch werksinterne Fehlergrenzen zu definieren. Nachstehend ein Überblick relevanter VDI 2618-Blätter:

- Blatt 1.1 Prüfmittelüberwachung - Anweisungen zur Überwachung von Messmitteln für geometrische Größen – Grundlagen
- Blatt 3.1 Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Parallelendmaße

Blatt 4.1	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für zylindrische Einstellnormale, Lehrdorne und Lehrringe
Blatt 4.2	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Prüfstifte/Gewindeprüfstifte
Blatt 4.5	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Einstellnormale für Gewindemessschrauben
Blatt 4.7	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Rachenlehren
Blatt 5.1	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Flachlineale
Blatt 7.1	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Stahlwinkel 90°
Blatt 7.2	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Winkelmesser
Blatt 8.2	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Maßbänder und Maßstäbe
Blatt 9.1	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Messschieber für Außen-, Innen- und Tiefenmaße
Blatt 10.1	Prüfmittelüberwachung - Prüfanweisung für Bügelmessschrauben

## 5. Welche Geräte sollen überwacht werden?

Aus dem oben Beschriebenen ergibt sich, dass der Hersteller für sein Unternehmen eine Auflistung der Einrichtungen und Hilfsmittel für Mess- und Überwachungseinrichtungen definieren muss. Der Hersteller muss auch die geforderte Genauigkeit für diese Mess- und Überwachungseinrichtungen definieren. Diese hängen ab von den möglicherweise gestellten Anforderungen, sowohl äußerer Güte, wie auch ggf. inneren mechanisch-technologischen Anforderungen. Zu diesen „überwachungspflichtigen“ Einrichtungen und Gerätschaften zählen:

- Messwerkzeuge zur Verifizierung der Werkstückabmessungen bezogen auf den Grundwerkstoff und die Zusatzwerkstoffe;
- Messwerkzeuge zur Messung und Bestätigung der Nahtvorbereitung und der Schweißposition bezogen auf die Verbindung;
- Heft-, Spannvorrichtungen und Werkzeugausrüstungen z. B. Dreh- und Wendeeinrichtungen, x-y-Arbeitstische;
- Durchflussmengenmeßgeräte für Schutzgase und den Gaswurzelschutz;
- Lagerbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte) für Schweißzusätze z. B. Rücktrocknungsöfen, Warmhalteköcher;
- Anzeigen und Einsteller für elektrische Einflussgrößen der Stromquelle wie Stromstärke, Spannung etc.;
- Anzeigen und Einsteller für Schweiß-Vorschubgeschwindigkeit, Drahtvorschubgeschwindigkeit beim mechanischen Schweißen (t-, v, a-);
- Messgeräte für Gasdurchflußmengen für Schutzgase;
- Messwerkzeuge für die Bestimmung der Ausziehlänge;
- Uhren für Zeitmessung zur Bestimmung der Schweißgeschwindigkeit und der Dauer der Haltezeit beim Unterbrechen des Schweißens und der Haltezeit bei der Wärmenachbehandlung;
- Messmittel zur Bestimmung der Vorwärm-, Halte- und Zwischenlagentemperatur;
- Messmittel bei der Wärmenachbehandlung Temperaturmessung, Messung der Wärmebehandlungszeit, Temperaturlaufzeichner (Temperaturmessdrucker).

Zu vielen dieser oben aufgeführten Gerätschaften gibt es Tabellen in DIN EN ISO 17662, die Vorgaben für Notwendigkeit der Kalibrierung, Verifizierung oder Validierung mit Toleranzen beinhalten.

## 6. Begrifflichkeiten

Was bedeutet nun Kalibrierung, Validierung und Verifizierung? Die Definitionen dieser Begriffe sind in DIN EN ISO 17662 erläutert.

## 6.1 Kalibrierung

Kalibrierung ist eine Anzahl von Vorgängen, die unter bestimmten Bedingungen eine Beziehung zwischen Mengenwerten, die von einem Messgerät oder -system ausgegeben wurden, oder von Werten, die durch eine Materialmessung oder ein Referenzmaterial und den entsprechenden Werten der Normen angegeben sind (DIN EN ISO 17662 Abschnitt 3.3).

Kalibrieren im Bereich der Messtechnik heißt: „eine Messabweichung am fertigen Messgerät festzustellen“. Bei anzeigenden Messgeräten wird durch das Kalibrieren die Messabweichung zwischen der Anzeige am Schweißgerät und dem richtigen Wert (Vergleichsnorm) festgestellt. Eigentlich ist es genau das, was bei einer Kalibrierung von Anzeigen in Schweißstromquellen gemacht wird. Das Vergleichsnorm ist dann entweder eigene Vorgaben oder Werte aus Normen wie z. B. DIN EN IEC 6074-14 “ Lichtbogenschweißeinrichtungen – Teil 14: Kalibrierung, Validierung und Konsistenzprüfung (IEC 60974-14:2018)“ [4].

## 6.2 Validierung

Ist die Bestätigung durch Bereitstellen eines objektiven Nachweises, dass die Anforderungen für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch (z. B. Kundenspezifikation) oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung (z. B. Produktnorm) erfüllt worden sind (DIN EN ISO 17662 Abschnitt 3.10).

Ein objektiver Nachweis wäre das Durchführen einer Messung mit einem anschließenden Vergleich der Werte gegen eine Vorgabe. Validieren vom Lateinischen validus = gültig, validieren = validum facere: gültig bzw. rechtswirksam machen. So wird ein Messmittel nach erfolgreicher Überprüfung für gültig erklärt.

## 6.3 Verifizierung

Ist die Bestätigung durch Bereitstellen eines objektiven Nachweises, dass festgelegte Anforderungen erfüllt worden sind. Verifizierung gilt außerdem als eine nachträgliche Bestätigung, dass ein verfügbarer Prozess zu einem erwarteten Erfolgsgrad geführt hat (DIN EN ISO 17662 Abschnitt 3.11).

Verifizieren aus dem Lateinischen verus = wahr, verifizieren = verum facere: wahr machen. Es geht um den Prozess des Wahrheitsnachweises, der Prüfung auf Richtigkeit.

## 7. Beispiele für erforderliche Kalibrierung oder Validierung

### 7.1 Messwerkzeuge für Werkstückabmessungen

Zu Messwerkzeugen für das Abmessen von Werkstücken aber auch für die „Qualitätskontrolle“ eines fertig geschweißten Bauteiles zählen Maßstäbe wie Gelenkgliedermaßstäbe, Rollbandmaße, Lineale, Messschieber und Bügelmessschrauben. DIN EN ISO 17662 sagt dazu in Tabelle 1 „Zur Messung und/oder zur Verifizierung der Werkstückabmessungen verwendete Geräte müssen gegebenenfalls kalibriert werden. Die Anforderungen hängen von den festgelegten Grenzmaßen usw. ab.“

Hieraus ergibt sich nicht zwangsläufig die Forderung nach einer Kalibrierung im Sinne der Rückverfolgung hin auf ein DKD kalibriertes Bezugsnorm mit Rückverfolgung auf ein PTB kalibriertes nationales Bezugsnorm. Es steht in DIN EN ISO 17662 „gegebenenfalls kalibriert“. Die Anforderungen an die Genauigkeit hängen von den geforderten Toleranzen in z. B. der Produktnorm ab. Die Anforderungen an schweißtechnisch hergestellte Produkte werden hinsichtlich ihrer Toleranzen nach den Klassen von DIN EN ISO 13920 „Allgemeintoleranzen für Schweißkonstruktionen – Längen und Winkelmaße, Form und Toleranzen“ in die Toleranzklassen A bis D (für Längen- und Winkelmaße) und in die Toleranzklassen E bis H (für Geradheits-, Ebenheits- und Parallelitätstoleranzen) beschrieben. Der Hersteller muss somit festlegen, ob mit seinen Messmitteln die in diesen Toleranzklassen festgelegten Toleranzen messbar sind. Die Genauigkeit des verwendeten Messmittels muss immer besser sein als die Toleranz für das geschweißte Bauteil.

Tabelle 2: Toleranzen bei Längenmaßstäben nach EG-Richtlinie 2004/22/EG.

Formel für die Toleranz	Genauigkeitsklasse		
	Klasse I	Klasse II	Klasse III
	$0,1 + 0,1 \times L$	$0,3 + 0,2 \times L$	$0,6 + 0,4 \times L$
Länge (L) in m	Toleranz in mm ±	Toleranz in mm ±	Toleranz in mm ±
1	0,2	0,5	1,0
2	0,3	0,7	1,4
3	0,4	0,9	1,8
4	0,5	1,1	2,2
5	0,6	1,3	2,6
6	0,7	1,5	3,0
7	0,8	1,7	3,4
8	0,9	1,9	3,8
9	1,0	2,1	4,2
10	1,1	2,3	4,6
15	1,6	3,3	6,6
20	2,1	4,3	8,6
25	2,6	5,3	10,6
30	3,1	6,3	12,6

Messgeräte zur Überprüfung der Gestaltung der Verbindung wie Kantenversatzlehren, a-Maßlehren, Vergleichskonturen für Nahtvorbereitungen müssen validiert werden. Sie können somit über Vergleichsmessungen für gültig erklärt werden.

## 7.2 Durchflussmengenmessgeräte für Schutzgase und den Gaswurzelschutz

Messgeräte für Bestimmung der Durchflussmengen für Schutzgase und für den Gaswurzelschutz müssen validiert werden. Hier reicht ebenfalls eine vergleichende Messung. DIN EN ISO 17662 (Tabelle 6) lässt eine zulässige Fehlergrenze von  $\pm 20\%$  der Gasdurchflussrate sogar zu. Zu diesen Messgeräten zählen die Manometer für die Umwertung des Staudrucks vor der Kalibrierdüse und die Schwebekörpermessröhrchen (Flowmeter oder Rotameter genannt).

## 7.3 Lagerbedingungen für Schweißzusätze z. B. Rücktrocknungsöfen, Warmhalteköcher

Zur Kontrolle von Lagerbedingungen (Temperatur, Feuchtegehalt usw.) verwendete Geräte, wie kombinierte Thermometer und Hygrometer, müssen laut DIN EN ISO 17662 kalibriert, verifiziert oder validiert werden. Anforderungen werden definiert an die Feuchtemessgeräte mit  $\pm 5\%$  und  $\pm 5\text{ °C}$  bei Thermometern. Der Hersteller legt also über DIN EN ISO 3834 fest, wie er diese Kontrollgeräte überwacht. Gleiches gilt für die Temperaturanzeigen in Rücktrocknungsöfen für Stabelektroden und Schweißpulver sowie Warmhalteköchern für Stabelektroden. Temperaturmessgeräte müssen validiert werden. Anforderung z. B. max.  $\pm 10\text{ °C}$ .

Es empfiehlt sich, als Hersteller eine Validierung / Verifizierung, also eine Vergleichsmessung mit z. B. einem Tastrermometer, durchzuführen, um den Nachweis der Erfüllung der Anforderungen zu führen.

## 7.4 Elektrische Einflussgrößen bei Schweißstromquellen

Die zur Überwachung der elektrischen Parameter Stromstärke und Schweißspannung verwendeten Messeinrichtungen, sowie Messeinrichtungen für die Vorschubgeschwindigkeit (Schweißgeschwindigkeit) und Drahtvorschubgeschwindigkeit, sind ebenfalls zu überwachen. Amperemeter, Voltmeter und

ähnliche Messeinrichtungen müssen kalibriert werden. Für das Messen der Stromstärke und der Schweißspannung wird auf DIN EN 50504 „Validierung von Lichtbogenschweißeinrichtungen“ verwiesen. Diese Norm wurde jedoch zwischenzeitlich zurückgezogen und durch DIN EN IEC 60974-14 ersetzt. In der anstehenden Neuausgabe von DIN EN ISO 17662:2023 wird in Tabelle 11 diese Änderung einfließen. In DIN EN IEC 60974-14 ist ausgeführt, wie diese Kalibrierung bzw. Validierung von Anzeigen und Sollvorgabewerten durchzuführen sind. Einstellelemente zur Vorgabe von Sollwerten und deren angeschlossener Stell- oder Regelstrecke können bzw. müssen validiert werden. Die Validierung betrifft hier die Feststellung der Abweichungen von den jeweiligen eingestellten zu den jeweils erreichten Werten. Während die Validierung der Drahtfördergeschwindigkeit vergleichsweise einfach ist, kann die Kalibrierung von Schweißstrom und/oder Schweißspannung problematisch sein. An späterer Stelle wird detaillierter auf die Schwierigkeiten bei der Validierung eingegangen.

Die Messgeräte für das Bestimmen der Geschwindigkeit, wie Stahllineale und Stoppuhren, brauchen nicht kalibriert, validiert oder verifiziert zu werden, solange die verwendeten Lineale nicht beschädigt sind. Die Uhren für die Zeitaufnahme können durch eine Vergleichsmessung mit einer angemessenen genauen Uhr validiert werden.

Messgeräte zum Messen der Momentanwerte der zu messenden Energie oder Leistung (in den verwendeten Schweißstromquellen) müssen ebenfalls validiert werden (DIN EN ISO 17662 Tab. 11). Hierzu wird auf den ISO/TR 18491 „Welding and allied processes — Guidelines for measurement of welding energies“ verwiesen.

Die Kalibrierung dieser Messgeräte kann von einem Kalibrierungs-/Validierungsservice durchgeführt werden, oder der Anwender der Stromquellen führt diese Kalibrierung selbst durch. Dies setzt jedoch voraus, dass er über die entsprechenden Vorrichtungen zum Kalibrieren / Validieren der Messgeräte verfügt. Diese Vorrichtungen ihrerseits müssen nach nationalen Normen kalibriert sein.

#### **7.4.1 DIN EN IEC 60974-14 als Hilfe zur Überprüfung der Genauigkeiten**

DIN EN 50504 „Validierung von Lichtbogenschweißeinrichtungen“ definierte die Validierung als „Vorgänge zum Nachweis, dass ein Teil einer Schweißeinrichtung oder eines Schweißsystems mit der Betriebsanweisung für diese Schweißeinrichtung oder dieses Schweißsystemübereinstimmt“ [4]. DIN EN 50504 wurde ersetzt durch DIN EN IEC 60974-14 „Lichtbogenschweißeinrichtungen - Teil 14: Kalibrierung, Validierung und Konsistenzprüfung (IEC 60974-14:2018“. In DIN EN IEC 60974-14 werden 2 Genauigkeitsklassen gelistet: eine ist direkt von der DIN EN IEC 60974-1 „Lichtbogenschweißeinrichtungen – Teil 1: Schweißstromquellen“ abgeleitet und wird Standardklasse genannt, die andere definiert einen höheren Grad an Genauigkeit für anspruchsvollere Schweißanwendungen, Präzisionsklasse genannt.

Der Hersteller (Anwender der Stromquelle) hat festzulegen, welcher Genauigkeitsklasse seine Anzeigen und Sollwerten in den Stromquellen genügen sollen. Tabelle 3 zeigt die erforderlichen Genauigkeiten (Toleranzen) für eine Kalibrierung von Anzeigen, Tabelle 4 die erforderlichen Genauigkeiten (Toleranzen) für die Validierungsgenauigkeiten von Sollwerten jeweils für Strom, Spannung und Drahtvorschubgeschwindigkeit.

Definition „Kalibrierung“: Tätigkeiten zur Ermittlung des unter festgelegten Bedingungen bestehenden Zusammenhangs zwischen einem Anzeigewert und einem Referenzwert

Mit der Definition von DIN EN IEC 60974-14 bezüglich des Kalibrierens kommt man zum Ergebnis, dass die Anzeigen in Stromquellen (also die angezeigten Messwerte während des Schweißens) zu überprüfen sind, also nachzuweisen ist, dass die Anzeigergeräte hinlänglich genau innerhalb einer vorgegebenen Toleranz anzeigen.

Definition „Validierung“: Tätigkeiten zum Nachweis, dass ein Sollwert mit dem Referenzwert übereinstimmt (innerhalb festgelegter Grenzen)

Das Validieren bedeutet, dass die Vorgaberegler für das Einstellen von Parametern reproduzierbar und dauerhaft (beständig) immer wieder zu den gleichen Werten innerhalb festgelegter Toleranzen führen. In den Stromquellen können je nach Hersteller entweder analoge (Zeiger-) oder digitale Messgeräte

verbaut sein. Bei Gleichstrom-Stromquellen werden üblicherweise Messgeräte verbaut, die den arithmetischen Mittelwert anzeigen. Bei Wechselstrom-Stromquellen zeigen die Messgeräte den Gleichricht-Mittelwert an. Nur bei älteren Stromquellen mit Dreheisen-Zeigermessinstrumenten wird der Effektivwert angezeigt.

Tabelle 3: Kalibrierungsgenauigkeiten von Anzeigen für Strom, Spannung und Drahtvorschubgeschwindigkeit in Stromquellen nach DIN EN IEC 60974-14.

Messung	Messgerätetyp	STANDARDKLASSE	PRÄZISIONSKLASSE	Referenz
Strom	Analog	± 2,5 %	± 1 %	von der oberen Messbereichsgrenze des Messgeräts
	Digital	± 2,5 %	± 1 %	des höchsten Bemessungswerts für den auf dem Leistungsschild angegebenen Schweißstrom
Spannung	Analog	± 2,5 %	± 1 %	von der oberen Messbereichsgrenze des Messgeräts
	Digital	± 1,5 V oder ± 2,5 %	± 0,6 V oder ± 1 %	Bevorzugtes Verfahren oder der Bemessungs-Leerlaufspannung ( $U_0$ ) oder nach Herstellerangaben
Drahtvorschubgeschwindigkeit	Analog oder Digital	± 2,5 %		der Höchsteinstellung unterhalb von 25 % der Höchsteinstellung
		± 10 %		des REFERENZWERTS zwischen 25 % und 100 % der Höchsteinstellung
	Analog oder Digital		± 2,5 %	der Höchsteinstellung unterhalb von 40 % der Höchsteinstellung
			± 6,25 %	des REFERENZWERTS zwischen 40 % und 100 % der Höchsteinstellung

Tabelle 4: Validierungsgenauigkeiten von Sollwerten für Strom, Spannung und Drahtvorschubgeschwindigkeit aus DIN EN ISO IEC 6074-14.

SOLLWERT	Klasse	Genauigkeit	Referenz	VALIDIERUNGSBEREICH
Strom	Standard	± 2,5 %	des höchsten SOLLWERTS	unterhalb von 25 % des höchsten SOLLWERTS
		± 10 %	des REFERENZWERTS	25 % bis 100 % des höchsten SOLLWERTS
	Präzision	± 1 %	des höchsten SOLLWERTS	unterhalb von 40 % des höchsten SOLLWERTS
		± 2,5 %	des REFERENZWERTS	40 % bis 100 % des höchsten SOLLWERTS
Spannung	Standard	± 2,5 %	des höchsten SOLLWERTS	unterhalb von 25 % des höchsten SOLLWERTS
		± 10 %	des REFERENZWERTS	25 % bis 100 % des höchsten SOLLWERTS
	Präzision	± 2 %	des höchsten SOLLWERTS	unterhalb von 40 % des höchsten SOLLWERTS
		± 5 %	des REFERENZWERTS	40 % bis 100 % des höchsten SOLLWERTS
Drahtvorschubgeschwindigkeit	Standard	± 2,5 %	der höchsten Einstellung	unterhalb von 25 % der höchsten Einstellung
		± 10 %	des REFERENZWERTS	zwischen 25 % und 100 % der höchsten Einstellung
	Präzision	± 2,5 %	der höchsten Einstellung	unterhalb von 40 % der höchsten Einstellung
		± 6,25 %	des REFERENZWERTS	zwischen 40 % und 100 % der höchsten Einstellung

Die Schweißeinrichtungen sollen nach Empfehlung der DIN EN IEC 60974-14 jährlich kalibriert/validiert werden. Je nach Intensität des Einsatzes der Stromquellen, z. B. im rauen Baustellenbetrieb bzw. nach jeder erfolgten Reparatur, kann das Intervall verkürzt oder verlängert werden.

Schweißstromquellen im Sinne der DIN EN IEC 60974-14 können wie folgt eingeteilt werden:

- Wechselstrom-Stromquellen mit konstantem Strom (fallende Kennlinie) z. B. für das Lichtbogenhandschweißen;
- Gleichstrom-Stromquellen mit konstantem Strom (fallende Kennlinie) z. B. für das Lichtbogenhandschweißen, WIG-Schweißen;
- Gleichstrom-Stromquellen mit Konstantspannung (Konstantspannungskennlinie) z. B. für das Metallschutzgasschweißen.

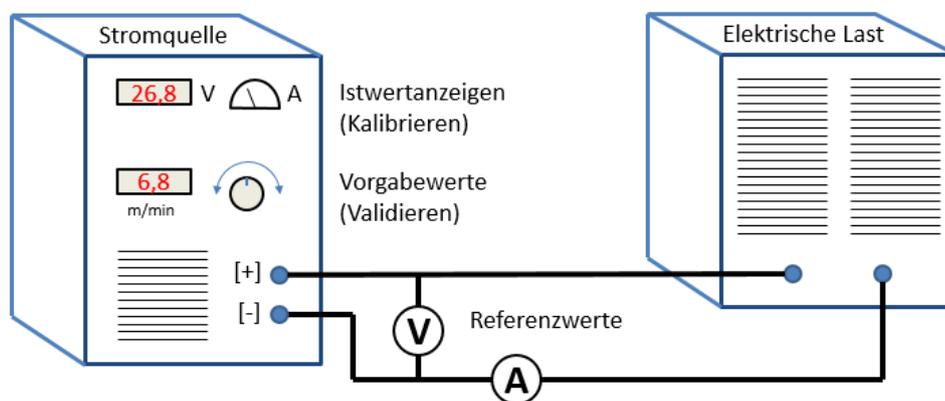


Abb. 1: Begriffe Kalibrierung und Validierung nach Jaeschke (Der Praktiker 12/2016).

#### 7.4.2 Schwierigkeiten der Validierung

Das einfache Messen der Schweißparameter wird durch verschiedene Faktoren erschwert, die bereits historisch in DIN EN 50504 gelistet wurden wie z. B.:

- die Wellenform des Stroms ist üblicherweise komplex, d.h. der Gleichstrom hat einige veränderliche Komponenten und der Wechselstrom ist nicht sinusförmig, sondern kann auch rechteckigen Verlauf haben;
- das Messen des Stroms vom Ausgang der Stromquellen mit starkem Welligkeitsanteil, insbesondere einige Typen von Inverter Gleichstrom-Stromquellen, führen abhängig vom Typ des verwendeten Messgeräts zu unterschiedlichen Ergebnissen;
- die Gestalt der Wellenform beeinflusst die Genauigkeit der Messung, wenn die Wellenform Komponenten höherer Frequenzen enthält, z. B. WIG-Rechteckimpulse und die Messvorrichtung eine induktive Komponente besitzt, z.B. einige Typen von Shunts. Dies kann durch Verwendung nicht-induktiver Shunts begrenzt werden;
- die Form des Stroms und die Wellenform der Spannung werden für Wechselstromquellen als sinusförmig angenommen. Fehler entstehen, wenn die Wellenform deutlich von der Sinusform abweicht, insbesondere bei der Verwendung von digitalen Messgeräten und tragbaren Schweißmonitoren. Dies ist z. B. der Fall bei der Lichtbogen-Spannung, die einer Rechteckform näher ist als einer Sinusform.

Für Stromquellen mit Impulstechnik und synergetischen Steuerungen, wie beim Metallschutzgasschweißen oft angewandt, wird empfohlen, nach DIN EN IEC 60974-14 zu validieren. Diese Einrichtungen werden dort der Präzisionsklasse zugerechnet und die Validierungsgenauigkeiten sollten  $\pm 5\%$  der Einstellung entsprechen, sofern vom Hersteller nicht anders festgelegt.

In der Praxis ist die Validierung von MSG-Stromquellen, unabhängig von deren Bauart, grundsätzlich problematisch. Der Grund hierfür ist, dass die Einstellwerte für Stromstärke oder Schweißspannung an der Schweißstromquelle beim MSG-Schweißen, aber auch bei besonderen WIG- oder E-Schweißverfahrensvarianten, eher den Charakter von „Prognosewerten“ haben, bevor die realen Werte während des Schweißens sich in Abhängigkeit von vielen Randbedingungen erst einstellen. Gerade beim MSG-

Schweißen hängen zum Beispiel Stromstärke und Schweißspannung stark von der tatsächlich vorliegenden Drahtvorschubgeschwindigkeit und vom freien Drahtende ab.

Beim Metallschutzgasschweißen mit Konstantspannungskennlinie ist die einzustellende Spannung oft nur über eine Skala ohne konkrete Werte wählbar. Der Schweißstrom wird mit über die Drahtvorschubgeschwindigkeit eingestellt. Der Schweißstrom ergibt sich somit aus der Skala der Spannungseinstellung, der eingestellten Drahtvorschubgeschwindigkeit und aus der Lichtbogenlänge. Die während des Schweißens angezeigten gemessenen Werte für Strom und Spannung stehen somit nur in einer „unverbindlichen“ Korrelation zu den Einstellreglern. Die Messgeräte-Anzeigen sind somit zu kalibrieren, um eine Aussage über die Genauigkeit der elektrischen Parameter zu erhalten.

Zu beachten ist weiterhin, dass beim Lichtbogenhandschweißen und WIG-Schweißen mit statisch fallender Gerätekenlinie an der Stromquelle keine Spannung eingestellt werden kann. Die Spannung im Lichtbogen ergibt sich über die eingestellte Schweißstromstärke und die Lichtbogenlänge als Arbeitspunkt. Eine eingebaute Spannungsanzeige ist insofern nur informativ, bzw. während des Schweißens eine Messwertanzeige. Der Verwender sollte festlegen, ob diese Spannungs-Anzeige dann auch kalibriert werden muss.

Eingesetzte Anzeigen für Drahtfördergeschwindigkeiten beim Metallschutzgasschweißen und beim Unterpulverschweißen müssen meistens validiert werden, da es sich meistens um Sollwert-Anzeigen handelt. Nur wenn festgestellt wird, dass tatsächlich Messwerte der momentanen Drahtvorschubgeschwindigkeit während des Schweißens angezeigt werden, können diese Messgeräte, also Anzeigen, kalibriert werden.

Bei Drahtvorschubeinrichtungen für das WIG-Heißdraht- oder WIG-Kaltdrahtschweißen ist eine genaue Kenntnis über die Menge des zugeführten Drahtes erforderlich. Von daher ist eine Kalibrierung/Validierung der Drahtvorschubeinrichtung notwendig. Für Drahtvorschubeinrichtungen gibt es ebenfalls 2 Klassen für die Genauigkeit.

## 8. Resumee

Ziel des gesamten Themas der Kalibrierung und Validierung ist, dass geschweißte Produkte mit vorgegebener Güte der Schweißverbindungen durch einen qualifizierten Schweißprozess (Schweißverfahrensprüfung) auf Basis einer daraus generierten Schweißanweisung (WPS) wiederholend und nachvollziehbar hergestellt werden sollen. Die in der erfolgreich qualifizierten Schweißverfahrensprüfung gefundenen Parameter sollen auf Geräte, wie z. B. Stromquellen, die in der späteren Fertigung eingesetzt werden, übertragen werden können. Dazu müssen die Einstellungen für die Vorgabewerte hinlänglich genau sein und wiederholend die gleichen Parameter in den Stromquellen liefern. Die Anzeigen, welche die eingestellten Werte als gemessene Größe wiedergeben, müssen somit ebenfalls innerhalb von der Norm festgelegter Grenzen (wiederholend) genau anzeigen.

Von daher sind alle die Qualität des geschweißten Produktes bestimmenden Einflussgrößen zu validieren bzw. deren Messmittel sind zu kalibrieren. Der Hersteller muss jedoch selbst definieren, welche Geräte und Einrichtungen er als qualitätsbeeinflussend dazu betrachtet. Dies hängt sehr von den verwendeten Werkstoffen und ihren Verarbeitungsgrenzen ab. Teilweise wird auch von übergeordneten Regelwerken, wie den Produktnormen selbst aber auch z. B. nach DIN EN ISO 3834-2, eine Kalibrierung/Validierung gefordert. Unterstützende Regelwerke wie DIN EN ISO 17662 und DIN EN IEC 60974-14 können dabei eine Hilfe zur Umsetzung bieten. Innerhalb des DVS entsteht für die „Überprüfung“ von Messeinrichtungen in Stromquellen derzeit ein Merkblatt [6], was als Leitfaden zur praktischen Umsetzung des Verifizierungsvorgangs (Verifikation), der Validierung von Lichtbogenschweißstromquellen bzw. des Kalibrierens von Messgeräten in Ergänzung zur DIN EN IEC 60974-14 dienen soll. Ein weiteres Hilfsmittel für Praktiker ist das Merkblatt DVS 0714 [7] von Januar 2023.

## 9. Schrifttum

- [1] DIN EN ISO 9001 „Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen (ISO 9001:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9001:2015“.
- [2] DIN-Fachbericht CEN ISO/TR 3834-6:2007-05 „Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen - Teil 6: Richtlinie zur Einführung von ISO 3834 (ISO/TR 3834-6:2007); Deutsche Fassung CEN ISO/TR 3834-6:2007“, demnächst DIN EN ISO 3834-6:2022.
- [3] DIN EN ISO 17662:2016 „Schweißen - Kalibrierung, Verifizierung und Validierung von Einrichtungen einschließlich ergänzender Tätigkeiten, die beim Schweißen verwendet werden (ISO 17662:2016); Deutsche Fassung EN ISO 17662:2016“.
- [4] DIN EN IEC 60974-14:2019 „Lichtbogenschweißeinrichtungen – Teil 14: Kalibrierung, Validierung und Konsistenzprüfung (IEC 60974-14:2018); Deutsche Fassung EN IEC 60974-14:2018“ und DIN EN IEC 60974-14 Berichtigung 1, VDE 0544-14 Berichtigung 1 „Lichtbogenschweißeinrichtungen - Teil 14: Kalibrierung, Validierung und Konsistenzprüfung (IEC 60974-14:2018/COR1:2022); Deutsche Fassung EN IEC 60974-14:2018/AC:2022-02“.
- [5] DVS Merkblatt 0973:2015-12 „Übersicht der Prozessregelvarianten des MSG-Lichtbogenschweißens“ und Beiblatt 1.
- [6] DVS Merkblatt 0980 „Verifizierung von Stromquellen in Lichtbogenschweißeinrichtungen“ (in Vorbereitung).
- [7] DVS Merkblatt 0714 „Erläuterungen zum Kalibrieren und Validieren von schweißtechnischen Einrichtungen.“

# Your future - our mission



## VacuFil Compact

### Platzsparende Hochvakuum- absaugung ohne Kompromisse

Das Hochvakuum Absauggerät VacuFil Compact ist für große Schweißrauch- und -Staubmengen ausgelegt. Es verfügt über ein großes, abreinigbares Filter und eine komfortable Einknopf-Bedienung, auch mit Handschuhen. Viele Zusatzausstattungen wie die automatische Luftvolumenstromregelung stehen zur Auswahl. Der Seitenkanalverdichter zur Unterdruckerzeugung sorgt für robuste Leistungsfähigkeit für industrielle Anwender.

# Deutscher Pionier und Technologieführer mit über 40 Jahren Erfahrung

KEMPER ist der Technologieführer für Absaugtechnik und Arbeitsschutz in der Metallbe- und verarbeitung. Aus dem einzigartigen Fokus auf die Anforderungen beim Schweißen und Schneiden entsteht seit 1977 innovative Anlagentechnik für die Praxis.

Verlassen Sie sich drauf: Mit KEMPER setzen Sie auf den Richtigen. Sie erlangen Rechtssicherheit und nachhaltige Leistungssicherheit durch saubere Luft am Arbeitsplatz.

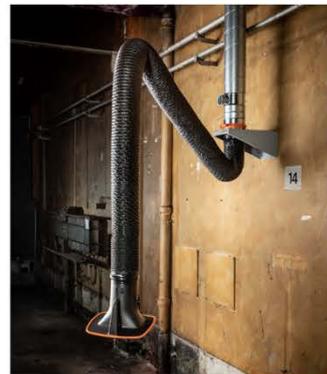
## Sortiment im Überblick:



**Absaugsysteme mobil**



**Absaugsysteme stationär**



**Absaugarme und Ventilatoren**



**Hochvakuumabsaugung**



**Raumlüftungssysteme**



**Absaugsysteme zentral**



**Absaug- und Schneidische**



**Arbeitsschutz und Trennwände**

## 1. Einleitung

Rührreibschweißen wurde 1991 vom TWI in Cambridge der Öffentlichkeit präsentiert. Es gehört zu den Reibschweißverfahren, die durch Bewegung und Druck Reibungswärme an der Fügestelle erzeugen und das Material in einen teigigen, jedoch nicht schmelzflüssigen Zustand überführen. Das Verfahren nimmt hierbei eine gewisse Sonderstellung ein, da nicht die Füge Teile aufeinander reiben, sondern die Schweißung mittels eines speziell geformten Werkzeuges, das mechanisch auf den Bereich der Fügezone einwirkt, durchgeführt wird.

Das Rührreibschweißen oder auch FSW (Friction Stir Welding) hat sich in den letzten Jahren als zukunfts-trächtiges Schweißverfahren in der aluminium- und magnesiumverarbeitenden Industrie etabliert. Es zeichnet sich insbesondere durch hohe Wirtschaftlichkeit und seine besonders guten Schweißnahtqualitäten aufgrund des nicht schmelzflüssigen Schweißprozesses und daraus resultierenden geringen Wärmeeintrag aus. Das Verfahren ermöglicht es, Werkstoffe, auch unterschiedliche, ohne besondere Nahtvor- bzw. Nachbearbeitung problemlos zu schweißen, auch solche, die mit konventionellen Schmelzschweißverfahren nicht oder nur bedingt schweißbar wären. Diverse innovative und auch hochbelastete Bauteilkonstruktionen aus Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik, dem Schiffbau, dem Anlagen- und Behälterbau und dem Fahrzeugbau sind so möglich geworden oder konnten ihre Leistungsfähigkeiten wesentlich steigern. Momentan ist das Verfahren weitestgehend auf niedrig schmelzende Werkstoffe wie beschränkt. Schweißungen an Bau-, Feinkorn- und Chrom-Nickel-Stählen wurden zwar erfolgreich durchgeführt, sind aber aufgrund der starken Abnutzung des Werkzeuges nur bedingt für den Serieneinsatz geeignet. Zur wirtschaftlichen Umsetzung an Stählen sind also Entwicklungen im Bereich der Rührreibwerkzeuge erforderlich. Die bis dato untersuchten und eingesetzten Werkzeugwerkstoffe zeigen keine ausreichende Beständigkeit bzw. sind nicht in gleichbleibender Qualität verfügbar. Die SLV Berlin-Brandenburg möchte hier mit Partnern aus der Keramikindustrie einen Beitrag leisten, die Palette der schweißbaren Materialien in Richtung Stahl wesentlich zu erweitern und auch wirtschaftlich attraktiv zu machen. Ziel ist es, der stahlverarbeitenden Industrie neue Fügemöglichkeiten aufzuzeigen.

## 2. Problemstellung aus wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Sicht

Eines der wichtigsten Entwicklungsziele der nächsten Jahre für das Rührreibschweißen ist die wirtschaftliche Erweiterung der Anwendungspalette bis hin zu Stahlwerkstoffen mit hohen Festigkeiten. Die bisherigen Vorteile des Rührreibschweißens gegenüber anderen Schweißverfahren sind vor allem beim Schweißen von Aluminiumwerkstoffen [1; 2] anzutreffen. Als Beispiele dazu sollen hier kurz folgende Tatsachen angesprochen werden: Kein Aufschmelzen, geringe thermische Belastung, einlagiges Schweißen auch bei größeren Blechdicken, sehr geringer Verzug bzw. Schrumpfung und umweltpolitisch betrachtet auch keine Emissionen, Rauche, Stäube oder Strahlung. Der wirtschaftliche Aspekt ist ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Es kommen im Regelfall keine Hilfsstoffe wie beispielsweise Schweißzusatzwerkstoffe, Gase oder Pulver zum Einsatz. Das alles geht mit einer hohen inneren und äußeren Nahtgüte einher, wodurch auch der bis dato eventuell anfallende hohe zeitliche Aufwand einer Nachbearbeitung oder Reparatur (z.B. Lagebindefehler) an den Schweißnähten entfällt. Der sich ausbildende Gefügezustand sorgt bei den bereits untersuchten Werkstoffsystemen für eine hohe Festigkeit der Verbindungen. Alle diese Vorteile lassen sich durchaus auf Stahlwerkstoffe übertragen. Andere Vorteile wären z.B. der Wegfall von Vorwärmen, Wärmeführung während des Prozesses oder auch aufwendiges Richten (z.B. Flammrichten) nach dem Schweißen was insgesamt zusätzlich Energie verbraucht und damit scheinbar energiearme Verfahren (z.B. MAG-Schweißen) wirtschaftlich gesehen in ein anderes Licht rücken. Beim Verschweißen von großen Stahlblechverkleidungen kommt es nicht zum „Knittern“ oder „Beulen“ an den Bauteilen. Damit sind also auch optische Vorteile, gerade bei größeren Bauteilen, möglich. Es gibt dazu bereits einige Erfahrungen und experimentelle Anwendungen [3-6] Eine wachsende Zahl von Anfragen, hauptsächlich aus den Bereichen Schiffbau, Offshore Fahrzeugbau und Sonderanwendungen (z. B. Schweißen im Anlagen- und Behälterbau) zeigt, dass das Interesse der Industrie auf diesem Gebiet

sehr groß ist. Es werden Stahlverbindungen normaler Güten (S235 und S355) angefragt, aber auch Stahlwerkstoffe mit sehr hohen Festigkeiten wie z.B. Feinkornbaustähle der Güten S690 oder S700. Weiter gefragt sind auch Tailored Blanks und Mischverbindungen mit anderen Werkstoffen, z.B. Aluminium [6]. Labortechnisch wurde einiges davon umgesetzt, aber die eigentlich wichtige Einführung der bisherigen Erfahrungen in die Industrie fand nicht statt. Ein wesentlicher Umstand dafür ist in den für das Rührreißschweißen an Stahl verwendeten Werkzeugsystemen bzw. Werkzeugwerkstoffen zu sehen. Beim Rührreißschweißen wird durch gleichzeitige Druckbeaufschlagung und Friktion Wärme erzeugt die zum Erweichen (Plastifizieren) der zu verschweißenden Werkstücke führt. Durch das Rühren des Werkzeuges in dem plastifizierten Metall kommt es zur Verbindung der Bauteile. Während des Rührreißschweißprozesses an Stahl ist das Werkzeug enorm hohen Temperaturen ca. 1200 °C (bei z.B. Aluminium nur ca. 500 °C) und korrosivem sowie abrasivem Verschleiß ausgesetzt. Die Anforderungen in Bezug auf mechanische, chemische und tribologische Beständigkeit bei hohen Temperaturen erfordern Werkstoffsysteme mit herausragenden Eigenschaften. Aktuell kommen neben metallischen Sonderwerkstoffen z.B. Wolfram-Rhenium (WRe), Tantalbasiswerkstoffe (Ta) und Vollhartmetalle (VHM, kobalthaltig), Werkzeuge aus polykristallinen kubischem Bornitrid (pcBN) zum Einsatz. Diese pcBN-Werkzeuge sind aber sehr kostenintensiv, kommerziell sehr schlecht verfügbar und zeigen insbesondere durch ihre geringe mechanische Festigkeit und durch das spröde Bruchverhalten nur unzureichende Anwendbarkeit für großtechnische Schweißanwendungen. Auch die metallischen Sonderwerkstoffe (siehe oben) sind gegenüber dem pcBN nicht unbedingt preiswerter, sind ähnlich schlecht beziehbar und besitzen nur eine geringe Haltbarkeit von wenigen Metern bei hohen Kosten.

Die Problematiken beim Rührreißschweißen von Stahl wurden oben bereits angesprochen, hohe Temperatur bei gleichzeitiger mechanischer, chemischer und tribologischer Belastung. Auch wenn die vorhandenen Werkstoffsysteme sicherlich für das Rührreißschweißen von Stahl unter Laborbedingungen geeignet sind, kann nicht von einer alltäglichen Gebrauchseigenschaft gesprochen werden. Gerade KMU (Kleine und mittlere Unternehmen) sind heute wettbewerblichen Bedingungen unterworfen, die ständige Verfügbarkeit, einfache Handhabung und sichere Ergebnisse fordern. PcBN, Wolfram, Tantal und auch die Gruppe der Vollhartmetalle können das nicht.

Keramische Werkstoffsysteme dagegen haben bereits in vielen Bereichen der Stahlherstellung- und Verarbeitung ihr Einsatzpotential und insbesondere ihre Wirtschaftlichkeit unter Beweis gestellt. Ausgehend von den im Bereich der Schmelzmetallurgie eingesetzten Materialien in Ausmauerungen von Hochöfen und Gießanlagen bis hin zu Hochleistungszerspanungswerkzeugen wurde die Leistungsfähigkeit keramischer Werkstoffe in Wechselwirkung mit Stahl nachgewiesen.

Keramische Werkstoffe zeigen ein hohes Potential, das Rührreißschweißen für die Anwendungspalette der Stahlwerkstoffe sowohl technologisch als auch wirtschaftlich zu entwickeln. Neben der generellen Gestaltung des Rührreißschweißprozesses für verschiedene Stahlwerkstoffe ist auch die Entwicklung keramischer Rührreibwerkzeuge einer der Motivationsgründe für die SLV Berlin-Brandenburg in dieser Richtung weiterzuarbeiten. Einer unserer wichtigsten Partner ist hierbei das Forschungsinstitut für Glas - Keramik GmbH in Höhr-Grenzhausen.

### **3. Wirtschaftliche Bedeutung für die nationale und europäischen Industrie**

Die wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Verbesserung beim FSW von Stählen teilt sich hauptsächlich in zwei Schwerpunkten, in die branchenübergreifenden Bereiche des Rührreißschweißens von Stählen sowie die zu entwickelnden keramische Werkzeuge, auf. Das Innovationspotential des Schweißverfahrens wurde bereits für niedrigschmelzende Werkstoffe (z. B. Aluminium, Magnesium) nachgewiesen und hat hier zu einer signifikanten Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Effizienz geführt. Insbesondere die zu erwartenden hohen Schweißnahtqualitäten und geringeren Vor- und Nachbereitungsaufwände eröffnen ein hohes Innovations- und Einsatzpotential für viele Wirtschaftszweige. Als potenzielle Nutzerkreise sind wie bereits erwähnt insbesondere der Schiffbau, der Fahrzeugbau sowie auch der allgemeine Stahlbau zu sehen, bei denen z.B. lange Schweißnähte großflächiger Bauteile und Strukturen in Montagehallen vorkonfektioniert werden. Neben den Qualitätseffekten (Schweißnahtaussehen, Verzugsarmut, Porenfreiheit) und den Quantitätseffekten (Vor- und Nachbereitung, Rüstzeiten) kommen für diese Wirtschaftszweige noch weitere wirtschaftlich positive Einflüsse hinzu. Es wurde bereits der umweltpolitische Aspekt kurz erwähnt, der sich aber für die Unternehmen nicht nur in einer besseren

Luft äußert und damit ein Image-Gewinn darstellt, sondern hier steht zusätzlich eine Reihe von finanziellen Anreizen im Vordergrund. Generell sind die Preise für Zusatzwerkstoffe und im Besonderen von Zusatzwerkstoffen für Chrom-Nickel-Stählen (CrNi-Stahl) in den letzten Jahren extrem gestiegen. Ebenfalls lässt sich eine wesentliche Steigerung der Preise von Gasen beobachten. Nicht zuletzt sind politische Maßnahmen und Gesetzgebungen (Stichwort Mindestlohn, CO<sub>2</sub>-Abgabe, Energiesteuer usw.) äußere Einflüsse die zum Anstieg der Kosten pro Schweißnaht, Stunde oder Bauteil beitragen. Gerade für KMU können diese Einflüsse existenziell werden. Durch den Einsatz des Rührreißschweißens könnten die Herstellungskosten der Schweißnähte auf Grund der kürzeren Nahtvor- und Nachbereitungszeiten, sowie schnellerer Schweißgeschwindigkeiten (z. B. mehrlagiges MAG- oder WIG-Schweißen – FSW grundsätzlich einlagig) drastisch reduziert werden, wodurch wiederum die Wirtschaftlichkeit und damit Wettbewerbsfähigkeit erhöht werden kann. Durch den Einsatz von keramischen Werkzeugen wird erwartet, die Wirtschaftlichkeit zusätzlich zu erhöhen, da längere Standzeiten der Werkzeuge und somit geringere Materialkosten für den Schweißprozess anfallen.

Das Rührreißschweißen generell stellt eine wirtschaftlichere Technologie im Vergleich zu anderen Schweißverfahren dar, führt aber nicht zwangsläufig zu einer Erweiterung bzw. Neuschaffung von Geschäftsfeldern. Das Potential von Mischverbindungen dagegen (z. B. Stahl-Aluminium), welches aktuell nicht ohne weiteres über andere Schweißverfahren abgebildet werden kann, eröffnet ein großes wissenschaftliches und wirtschaftliches Feld, welches dann tatsächlich zur Erweiterung bzw. Neuschaffung von Geschäftsfeldern beitragen kann.

Das Schweißverfahren zeigt, wie schon bemerkt, auf Grund der nicht vorhandenen Erforderlichkeit von Schweißzusatzwerkstoffen sowie Hilfsstoffen sehr hohe Potentiale zur Ressourcen- und Energieeinsparung. Aus umwelttechnischen Gesichtspunkten kann weiterhin angemerkt werden, dass das Rührreißschweißen im Vergleich zu den schmelzflüssigen Schweißverfahren auch weniger Abfälle in Form von Schlacken, Schweißnahtresten, Vor- und Nachbehandlungsabtrag etc. erzeugt und sich damit Umweltbelastungen durch enthaltene Legierungselemente nicht ergeben, d.h., aufwendige Recyclingprozesse nicht erforderlich sind. Man könnte an dieser Stelle auch von einem „Grünen Verfahren“ sprechen. Für den Bereich der keramischen Werkzeuge und der betreffenden Herstellerindustrie ist der Nutzen zum einen in der Schaffung neuer Erkenntnisse über das Werkstoffverhalten in Grenzbereichen und zum anderen in der Generierung neuer Anwendungsfelder und Absatzmärkte zu sehen. Durch die Erweiterung der Erkenntnisse und des Produktportfolios wird auch eine nachhaltige Stärkung der nationalen keramischen Industrie und deren Wettbewerbsfähigkeit erzielt.

#### **4. Stand der Forschung und Entwicklung**

Das Rührreißschweißen (FSW, Friction Stir Welding) wurde 1991 am TWI Ltd (The Welding Institute, Great Abington bei Cambridge) in Großbritannien entwickelt und ist mittlerweile ein weltweit verbreitetes Verfahren zum Schweißen von Aluminium- und Kupferstrukturen. Das Verfahren besticht dabei durch die hohen Schweißnahtqualitäten bei gleichzeitig geringstem Aufwand der Nahtvorbereitung und Nachbearbeitung. Zudem sind Schweißnähte bei hohen Blechdicken bis 40 Millimeter wirtschaftlich im einlagigen Prozess realisierbar [7-10].

In zahlreichen Forschungsarbeiten wurde bereits die Übertragbarkeit von FSW auf das Schweißen von Stahlstrukturen untersucht. Neben den klassischen Baustählen [11] wurde auch die prinzipielle Schweißbarkeit bei verschiedenen Stahlsystemen nachgewiesen, u.a. an nichtrostenden austenitischen Stählen (Chrom-Nickel-Stahl) [12; 13] und Dualphasen-Stählen [14].

Aufgrund der höheren Schweißtemperatur und der damit einhergehenden höheren Belastung der Schweißwerkzeuge sind Anwendungen dieser Schweißungen aktuell nur eingeschränkt umsetzbar. Somit kommt der Belastung des Werkzeuges und deren Wechselwirkung mit dem zu schweißenden Werkstück eine besondere Bedeutung zu [15]. Als aktueller Standard wird die Nutzung von pcBN-Werkzeugen (Werkzeugeinsätze aus polykristallinen kubischem Bornitrid) angesehen [16; 17] (Abb. 1).



Abb. 1: Schweißen eines Stahls (S235JR,  $t = 5 \text{ mm}$ ) mit pcBN- Werkzeug und Schutzgasabdeckung (Quelle: HZG).

PcBN weist auf Grund seiner atomaren Struktur eine sehr hohe Härte und damit einhergehende exzellente Verschleißbeständigkeit auf, besitzt jedoch die für keramische Hartstoffe übliche Sprödigkeit, weshalb es während des Einsatzes bei Überlast zum Bruch dieser Einsätze kommt. Erschwerend hinzu kommen die hohen Werkzeugkosten (4.000,- bis 5.000,- Euro pro Werkzeug) in Verbindung mit den fertigungsbedingten Qualitätsschwankungen und eingeschränkten Bezugsmöglichkeiten. Zur Reduzierung der Werkzeugbelastung wurden im Rahmen des EU-Projektes SOLVSTIR [18] Untersuchungen zur Erhöhung der Lebensdauer der eingesetzten Werkzeuge durch lokale Vorwärmung durchgeführt. Ähnliche Untersuchungen gab es im Rahmen eines Forschungsprojektes [5] auch in der SLV Berlin-Brandenburg. Zudem wurde der Einsatz hochschmelzender metallischer Werkstoffsysteme (z.B. W-Re oder Th) untersucht [19] (Abb. 2).



Abb. 2: Schweißen eines Stahls (S235JR,  $t = 5 \text{ mm}$ ) WRe-Werkzeug ohne Schutzgasabdeckung (Quelle: SLV B-B).

Hierbei konnte keine Erhöhung der Standzeit im Vergleich zum pcBN erzielt werden. Neben der Werkzeuggeometrie wurden zum Teil Verbundstrukturen wie TZM-Schulterwerkstoff (Molybdänbasislegierung) und WRe-Schweißstiftwerkstoff untersucht. Es konnten zwar leichte Verbesserungen der Standzeiten erzielt werden, jedoch stellte sich identisch zum pcBN ein großer Einfluss des Werkzeugverschleißes auf die Nahtqualität ein [20, 21]. Somit ist es zwingend erforderlich den Verschleiß an den Rührreibwerkzeugen und die damit einhergehenden Faktoren einer Verschlechterung der Schweißnahtqualität

wesentlich zu reduzieren. Derartige Maßnahmen tragen entscheidend zur Kostenreduzierung und wirtschaftlichen Umsetzung des FSW-Verfahrens an Stählen bei. Hier stehen sowohl die Prozessparameter und damit das Verständnis über die Abhängigkeit der Schweißparameter vom zu schweißenden Werkstoffsystem (Stahl) sowie die Beständigkeit der eingesetzten Werkzeugmaterialien im Vordergrund. Es sind bislang noch keine ausreichenden fundierten Erkenntnisse und Untersuchungen vorhanden. Deshalb ist es nötig in dem Bereich weitere Forschungsarbeiten zu etablieren. Die SLV Berlin-Brandenburg hat in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für Glas - Keramik GmbH in Höhr-Grenzhausen den Einsatz von speziellen Keramiken im IGF-Projekt 19213 N [22] bearbeitet und konnte auch weitere Verbesserungen erzielen. Aktuell sind Schweißnahtlängen von 10 bis 12 Meter bei sehr geringen Kosten, ca. 30,- bis 50,- Euro pro Werkzeug, möglich. An einer Verbesserung (Standzeit der Werkzeuge) wird aktuell gearbeitet. Auch könnten die Kosten pro Werkzeug gesenkt werden. Dabei die AM-Technologie (Additive Fertigung) eine nicht unbedeutende Rolle spielen.

## 5. Einführung in die Industrie als Ziel

Im Vorfeld der genannten Zielsetzung waren und sind weiterhin Recherchen in den verschiedensten wirtschaftlichen Zweigen der deutschen, aber auch europäischen Industrie nötig. Es muss geklärt werden welche Stähle mit FSW geschweißt werden sollen und welche Möglichkeiten dazu bei den Partnern aus der Wirtschaft vorhanden sind. Als erste Ergebnisse daraus sind Arbeitsbereiche definiert und Werkstoffsysteme favorisiert worden.

Für die Zielsetzung sind die kommenden Arbeiten in zwei Bereiche unterteilt. Beide werden von der SLV Berlin-Brandenburg in Kooperation mit dem Forschungsinstitut für Glas - Keramik GmbH bearbeitet. Ziel des durch die SLV Berlin-Brandenburg hauptverantwortlich bearbeiteten Bereiches ist die weitere und verbesserte Übertragung des Rührreibschweißprozesses auf den Bereich der Stahlwerkstoffe und hier im Wesentlichen die folgenden Systeme:

### Gruppe 1: Baustähle

- S235JR / 1.0038 (unlegierter, allgemeiner Baustahl nach DIN EN 10025-2)
- S355JR / 1.0045 (unlegierter, allgemeiner Baustahl nach DIN EN 10025-2)

### Gruppe 2: Feinkornbaubaustähle

- S690QL / 1.8928 (hochfester, schweißgeeigneter Feinkornbaustahl nach DIN EN 10025-6)
- S700MC / 1.8974 (thermomechanisch gewalzte, mikrolegierter Feinkornbaustahl nach DIN EN10149-2)

### Gruppe 3: Nichtrostende austenitische Stähle

- Zum Beispiel X5CrNi18-10 / 1.4301 (bekanntester der austenitischen Chrom-Nickel-Stähle, genormt nach EN 10088-3, gute Verarbeitbarkeit, attraktives Aussehen, polierbar)

### Gruppe 4: Dualphasenstähle

- Zum Beispiel HCT600X (prEN 10338 :2009, kaltgewalzt, besonders für Fertigung von Struktur- und Sicherheitsbauteilen, Automobilbau)

Die Arbeiten beinhalteten die Definition von Standardparametern zur Durchführung gängiger Schweißverbindungen (Stumpfstoß) der gewählten Stähle in Abhängigkeit der Werkstoffdicken. Es wird im Wesentlichen mit zwei Werkstoffdickenbereiche gearbeitet, 2-3 mm und 5-6 mm. Nur in sinnvollen Ausnahmefällen (z. B. Dualphasenstähle, Tailored Blanks) wird davon abgewichen. Grundsätzliche Parameter für andere Werkstoffdicken lassen sich aus dem dann vorhandenen Wissen ableiten.

Aufgrund des unterschiedlichen thermomechanischen Verhaltens der Werkstoffe ist eine detaillierte Betrachtung der prozessabhängigen Einflüsse auf die Nahtbildung und die daraus resultierenden Schweißnahteigenschaften immer wieder elementar. Ausgehend von der Bestimmung der temperaturabhängigen Plastizität im Zugversuch der vorgesehenen Stahlwerkstoffe werden durch wenige gezielte Variationen der Schweißparameter (Axialkraft, Drehgeschwindigkeit des Werkzeuges, Schweißgeschwindigkeit) die phänomenologischen Prozesse bei der Schweißnahtbildung untersucht und die

daraus resultierenden Eigenschaftsprofile betrachtet. Anhand dieser prägnanten Studie werden die optimalen Schweißparameter in Abhängigkeit der verschiedenen Stahlwerkstoffe bzw. deren werkstoffkundlichen Kenngrößen abgeleitet. Diese Parameter werden weitestgehend festgeschrieben und für alle weiteren Versuche als Ausgangsparameter genutzt. Insbesondere die Plastizität der Werkstoffe im Bereich der Schweißtemperatur wird hier als wesentliche Regelgröße angesehen. Es ist nun das Potential vorhanden anhand der Werkstoffkennwerte der zu schweißenden Stahlsorten (Plastizität  $f_{(T)}$ , Zugfestigkeit etc.) deren Schweißseignung sowie die orientierenden Prozessparameter herzuleiten und Verfahrens-Richtlinien (z. B. DVS-Merkblatt, Parametersammlung für Endanwender, Datenblätter für Rührreißschweißmaschinen usw.) zu erstellen.

Federführend für die Zielsetzung des zweiten Teilbereiches, die Entwicklung keramischer Werkzeuge mit hohen Prozessstandzeiten für das Rührreißschweißen von Stahlwerkstoffen, ist das Forschungsinstitut für Glas - Keramik GmbH in Höhr-Grenzhausen. Die erforderlichen hohen Anwendungstemperaturen und chemisch-tribologischen Belastungen reduzieren die potenziellen Werkzeugwerkstoffe auf Sonderlegierungen oder keramische Werkstoffsysteme. Ausgehend von einer phänomenologischen Betrachtung des Schweißprozesses und annähernden Definition des Anforderungsprofils (thermisch, mechanisch und chemische Anforderungen) werden gezielt Werkstoffsysteme ausgewählt und in Vorstudien (z.B. Kontaktkorrosion  $f_{(t,T)}$ ) das prinzipielle Einsatzpotential abgeschätzt. Aus geeignet erscheinenden Werkstoffsystemen werden dann Wechseleinsätze für metallische Werkzeughalter hergestellt und Schweißversuche von der SLV Berlin-Brandenburg an ausgewählten Stählen mit bekannten Schweißverhalten (z.B. S235JR) durchgeführt (Abb. 3).



*Abb. 3: Keramisches Rührreibwerkzeug für 5 mm, Wechseleinsatz aus  $Si_3N_4$  (Quelle: SLV B-B).*

Die Werkzeuge werden hinsichtlich der auftretenden Schädigung charakterisiert und Versagenshypothesen abgeleitet. Entsprechend der Hypothesen sollen weitere gezielte Anpassungen der Werkstoffsysteme (z.B. Verbundwerkstoffe mit gezielten Eigenschaften) vorgenommen und deren Eignung in Schweißversuchen sowie begleitenden Laborexperimenten (chemische, thermische Beständigkeit) untersucht werden. Die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung eines geeigneten Werkstoffsystems der Werkzeuge für das Rührreißschweißens von Stahl ist eine zwingend erforderliche Maßnahme zur wirtschaftlichen Umsetzung des Prozesses für die beschriebenen Anwendungsbereiche.

Die bisherigen vielversprechenden Untersuchungen haben gezeigt, dass das dazu notwendige Potenzial sowohl auf der Werkzeugseite als auch auf der Verfahrensseite vorhanden ist. Theoretisch, aber auch praktisch steht einem industriellen Einsatz von Rührreißschweißen an Stahl nichts mehr im Weg. Unabhängig davon wird wie beschrieben weiter an der Verbesserung der Werkstoffsysteme und damit auch der Parameterseite gearbeitet.

## 6. Schrifttum

- [1] Schofer, E.: Friction Stir Welding – Vorteile eines neuen Schweißverfahrens. Vortragsmanuskript ISF-Kolloquium „Fügen von Leichtmetallen“ Aachen 06/08.
- [2] Kallee, S.W., E.D. Nicholas, und W.M. Thomas: FSW: Erfindung, Innovation und Anwendung. Vortrag 2. GKSS Workshop FSW 22. / 23.01.2002, Geesthacht.
- [3] Johnson, R.: Friction stir welding conquers austenitic stainless steel. *Welding & Metal Fabrication* Nov/Dez 2000.
- [4] Konkol, J., J. Maters, R. Johnson: FSW of HSLA-65 Steel for Shipbuilding. Vortragsmanuskript des Third International Symposium FSW, Port Island, Kobe, Japan, 2001.
- [5] Forschungsbericht AiF-Nr. 14.574; DVS-Nr. 05.036: Rührreischweißen von Stahl und Stahl-Werkstoffkombinationen mit lokaler induktiver Erwärmung, SLV Berlin-Brandenburg, Berlin, Oktober 2008.
- [6] Forschungsbericht, Dokumentation D 764: Integration des Rührreischweißen in Fertigungsprozessketten, IGF-Vorhaben 15.685, 15.687 und 15.689 der Forschungsvereinigung des Deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (DVS), IGF-Vorhaben 15.686 (P 754) der FOSTA - Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., IGF-Vorhaben 15.688 der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA), 2011 Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH, Düsseldorf.
- [7] R. Zettler, T. Donath, J.F. Santos, F. Beckman, D. Lohwasser, Validation of Marker Material Flow in 4mm Thick Friction Stir Welded Al2024-T351 through Computer Microtomography and dedicated Metallographic Techniques, *Advanced Engineering Materials*, 8, No. 6, (2006).
- [8] W.M. Thomas, I.M. Norris, D.G. Staines, E.R. Watts, Friction Stir Welding – Process Developments and Variant Techniques, *Proceedings, The SME Summit 2005, Milwaukee, USA, August 2005.*
- [9] W. Thomas, C. Wiesner, D. Staines, I. Norris, Friction stir welding technology – preliminary studies of variant techniques – Part 1, *Welding and Cutting* 5 (2006), No. 6.
- [10] W. Thomas, C. Wiesner, D. Staines, I. Norris, Friction stir welding technology – preliminary studies of variant techniques – Part 2, *Welding and Cutting* 6 (2007), No. 1.
- [11] T.J. Lienert, W.L. Stellwag, B.B. Grimmer, R.W. Warke, Friction Stir Welding on Mild Steel, Supplement to the *Welding Journal*, *Welding Research*, January 2003.
- [12] S. Park, Y. Sato, H. Kokawa, K. Okamoto, S. Hirano, M. Inakagi, Microstructures and properties of friction stir welded 304 austenitic stainless steel, *Welding International*, Vol. 19, Issue 11, (2005).
- [13] J.-H. Cho, P.R. Dawson, Investigation on Texture Evolution during Friction Stir Welding of Stainless Steel, *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 37A, (2006).
- [14] T.W. Nelson, C.D. Sorensen, R. Steel, S. Packer, Friction Stir Welding of Dual Phase Steel, Präsentation.
- [15] W.M. Thomas, P.L. Threadgill, E.D. Nicholas, Feasibility of friction stir welding steel, *Science and Technology of Welding & Joining*, Vol. 4, No. 6, (1999).
- [16] D. Statton, C. Sorensen, Characterizing the frictional interface between PCBN and 1018 steel for friction stir welding numerical models, *WIT Transactions on Engineering Sciences*, Vol. 51, (2005).
- [17] Qingyuan Liu, Russell Steel, Jeremy Peterson, Scott Horman, Matt Collier, MegaDiamond, Smith International Inc. Provo, Utah, USA; Davia B. Marshall, Janet B. Davis, Teledyne Scientific Company Thousand Oaks, California, USA; Murray Mahoney, Consultant, Midway, Utah, USA, *Advances in Friction Stir Welding Tooling Materials Development, Proceedings of the Twentieth (2010) International Offshore and Polar Engineering Conference Beijing, China, June 20-25, 2010.*
- [18] EU-Projekt RFS-PR-03077, Solving Steel Welding Problems by the use of Friction Stir, SOLVSTIR
- [19] ZIM-Projekt VP2349001PK9, Rührreischweißen für das Fügen großflächiger Stahlstrukturen - FSW-Steel; Teilprojekt SLV Berlin-Brandenburg: Bestimmung der Prozessparameter und Optimierung des Werkzeugdesigns, 2009-2011.
- [20] P.J. Konkol, M.F. Mruczek, Comparison of Friction Stir Weldments and Submerged-Arc Weldments in HSLA-65 Steel, Präsentation, NSRP SP-7 Meeting, April 2006.
- [21] Seung Hwan C. Park, Yutaka S. Sato, Hiroyuki Kokawa, Kazutaka Okamoto, Satoshi Hirano, Masahisa Inakagi, Boride Formation Induced by pcBN Tool Wear in Friction-Stir-Welded Stainless Steels,

DOI: 10.1007.s11661-008-9709-9, The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International 2009

- [22] Forschungsbericht IGF-Vorhaben 19213 N; P 1136 der FOSTA - Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V.: Einsatz des Rührreibschweißens für das Fügen von Stählen unterschiedlicher Güte in Verbindung mit einer gleichzeitigen Entwicklung entsprechender neuartiger keramischer Werkzeuge; SLV Berlin-Brandenburg, Berlin; Forschungsinstitut für Glas - Keramik GmbH, Höhr-Grenzhausen, 2017-2019.

# Trans- Steel

Pulse

Infinite applications to unleash  
your welding potential

Kontrolliertes Schweißen  
im Bereich des  
Übergangslichtbogens

Die Puls-Funktion bei der TransSteel 3000C Pulse, 4000 Pulse und 5000 Pulse ermöglicht schnellere Schweißgeschwindigkeiten bei größeren Materialstärken. Durch den Puls-Lichtbogen verringert sich auch die Nacharbeit, da weniger Schweißspritzer entstehen.



Mehr Informationen zur TransSteel Pulse  
Geräteserie unter: [www.fronius.de/transsteel](http://www.fronius.de/transsteel)



70% 30%

weniger  
Nacharbeit

schneller  
schweißen

# TransSteel 2200C EF Paket



MIG/MAG



## Lieferumfang

- TransSteel 220 A Schweißgerät\*
- Handschweißbrenner 250 A gasgekühlt 3,5 m
- Massekabel 25 mm<sup>2</sup> 4 m
- Starter Kit mit Verschleißteilen



**Set-Preis\* € 1.799,00**

Art.-Nr. 4,075,220,880

# TransSteel 3000C Pulse Paket



MIG/MAG



## Lieferumfang

- TransSteel 300 A Schweißgerät\*
- Handschweißbrenner 320 A gasgekühlt 3,5 m mit UpDown-Bedienung
- Massekabel 35 mm<sup>2</sup> 5 m
- Starter Kit mit Verschleißteilen



**Set-Preis\* € 3.999,00**

Art.-Nr. 4,075,227,880



<https://warranty.fronius.com/de>

\* Unverbindliche Preisempfehlung. Nur in teilnehmenden Shops erhältlich. Der Preis versteht sich zzgl. MwSt. und Versandkosten.

## Welche Möglichkeiten bietet das Handlaserschweißen auch in Handwerksbetrieben?

R. Marahrens, Essen



Quelle IPG Laser

Folie 1: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

Bedeutung:

**L**ight  
**A**mplified by  
**S**timulated  
**E**mission of  
**R**adiation

**Licht**  
**Verstärkung**  
**durch stimulierte**  
**Emission**  
**von Strahlung**

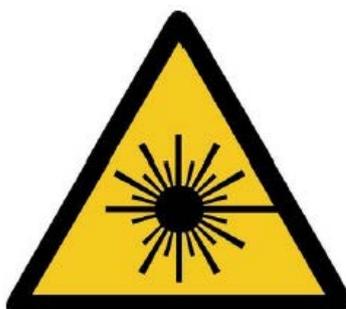
Quelle IPG Laser



Folie 2: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

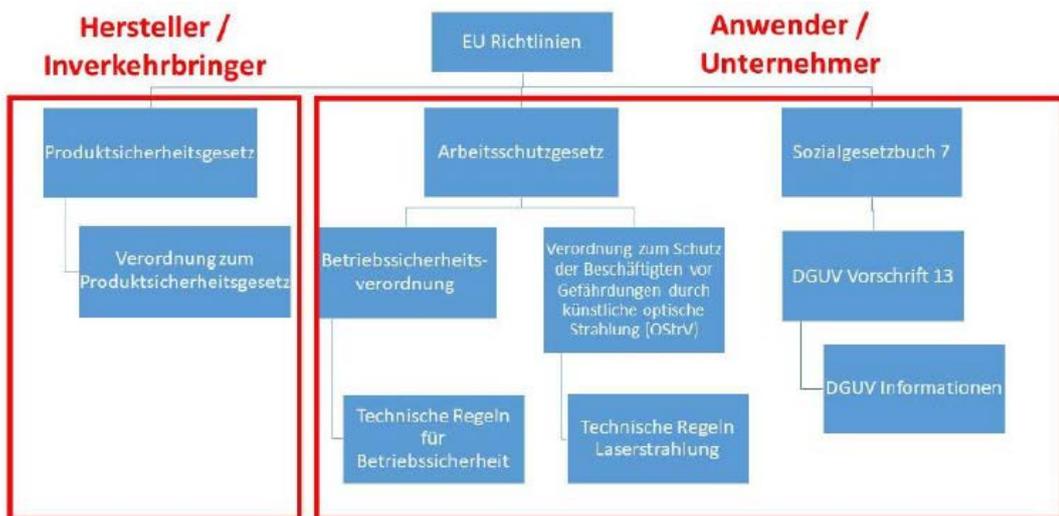
Außerkraftsetzung der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (DGUV Vorschrift 11) Zum 01.04.2023 wurde die Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ außer Kraft gesetzt. Dies wurde im Bundesanzeiger am 30. März 2023 öffentlich bekannt gegeben. 01.04.2023

Für den Betrieb eines Lasers der Klasse 4 gelten folgende Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung: **TROS Laserstrahlung, Allgemeines, 1, 2, 3**  
Als Laserquelle kommen bei den handgeführten Schweißgeräten zumeist Nd:YAG-Laserquellen oder Faserlaser zum Einsatz. Bei Nd:YAG-Lasern bildet ein künstlich synthetisierter Kristall – ein mit Neodym-Atomen angereicherter **Yttrium-Aluminium-Granat** – die Grundlage für die Laserquelle.



Quellen: BG Etreem, IPG, Teka, Jutec, Reuter, Institut Rey

Folie 3: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.



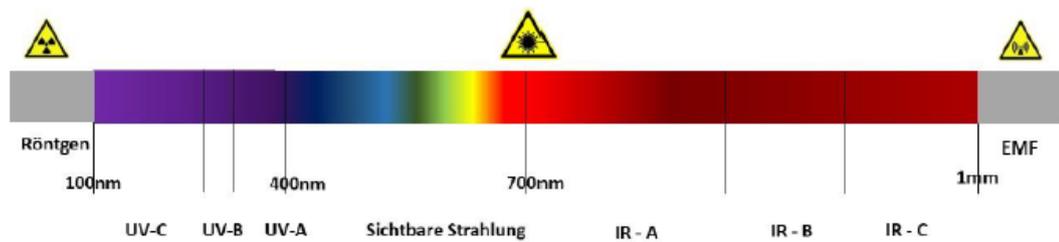
Folie 4: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

### Laserklassenübersicht:

Laserklasse	Auge	Haut
Klasse 1	Der zugängliche Strahl ist ungefährlich oder der Laser ist in einem geschlossenen Gehäuse.	
Klasse 1M, 2M, 3A	Sicher für die Augen, wenn nicht längere Zeit (über 0,25s) in den Strahl geblickt wird oder optische Instrumente, wie Lupen oder Fernrohre benutzt werden.	
Klasse 3R, 3B	Gefährlich für die Augen!	Hautgefährdung nur im oberen Leistungsbereich von 3B
Klasse 4	Gefährlich für die Augen und die Haut! Auch diffuse Strahlung kann gefährlich sein.	

Folie 5: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

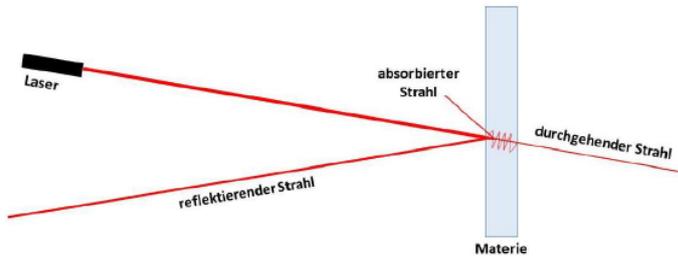
### Elektromagnetische Wellen



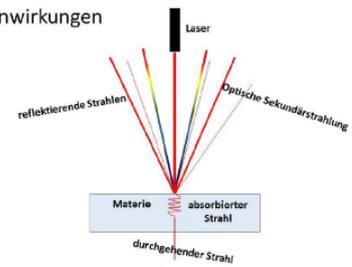
Optische Strahlung ist jede elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von **100 nm bis 1mm**.

Folie 6: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

## Wechselwirkung zur Materie

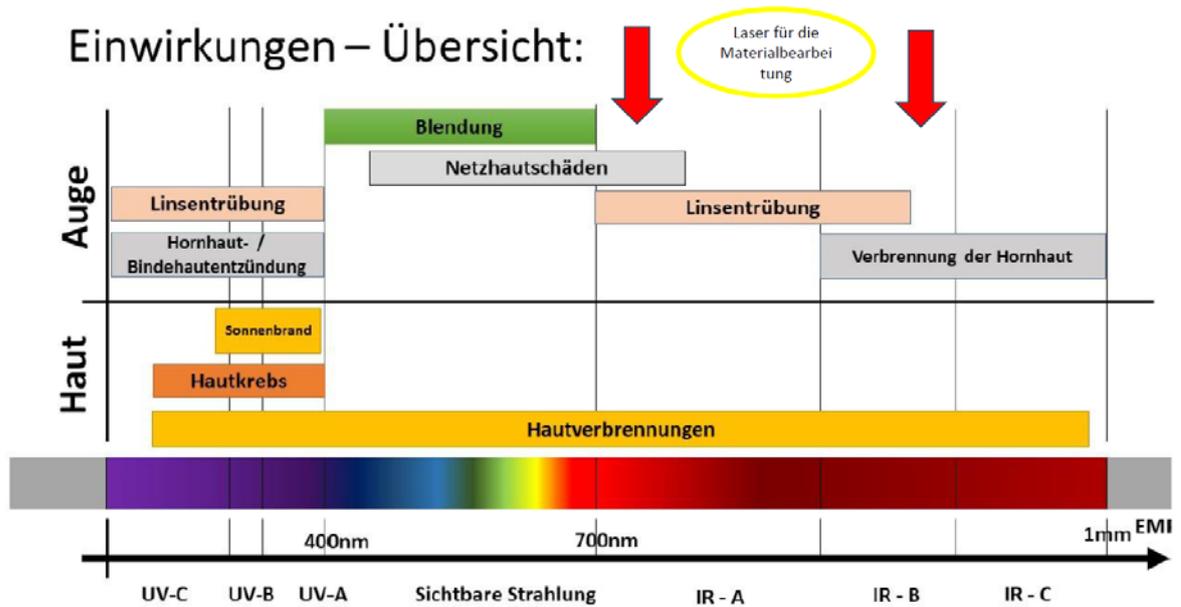


## Indirekte Einwirkungen



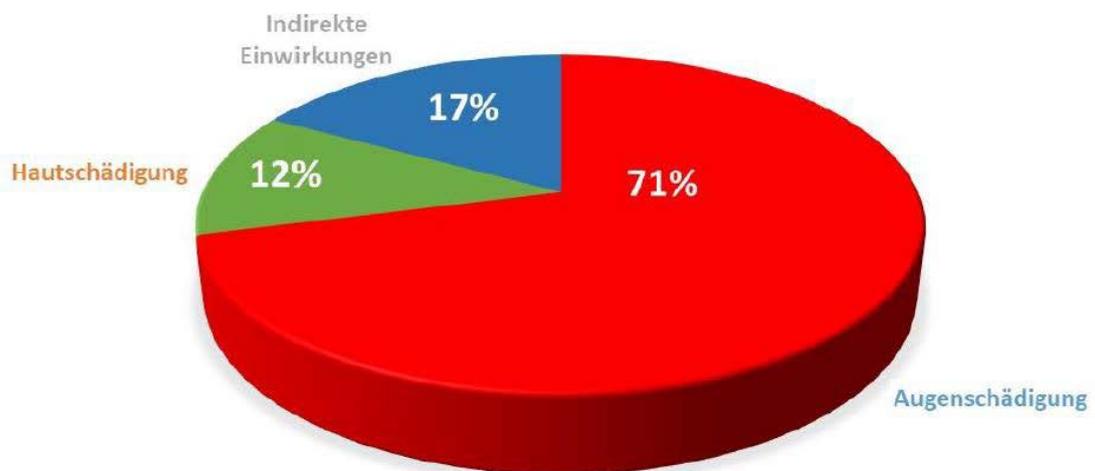
Folie 7: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

## Einwirkungen – Übersicht:



Folie 8: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

## Unfallgeschehen



Folie 9: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.



## Lasersicherheit

Laser werden nach ihrem Gefährdungspotential in verschiedene Laserklassen eingeteilt. Nachfolgend ist die Bedeutung der Laserklassen entsprechend der Norm EN 60825-1 kurz beschrieben. Eine genaue Definition der Laserklassen mit Angabe von Grenzwerten zugänglicher Strahlung finden Sie in eben dieser Norm.

- Lesen und verstehen Sie das **Benutzerhandbuch** und machen Sie sich mit den bereitgestellten **Betriebs- und Wartungsanweisungen** vertraut, bevor Sie das Produkt verwenden.
- Schauen Sie niemals direkt in die **Laserausgangsöffnung**, wenn die **Stromversorgung** angeschlossen ist.
- Der **Bediener des Lasers** ist dafür verantwortlich, die Verwendung des Lasers zu melden und den Laserbereich zu kontrollieren.
- Der **LightWELD Laser** ist ein Produkt der Laserklasse 4.
- Der **Pilotlaser** erfüllt die Anforderungen der Laserklasse 2M.
- Für die Einhaltung der Lasersicherheitsvorschriften ist der **Betreiber** verantwortlich.
- Jeder **Bediener des Produkts** muss die aktuell geltenden gesetzlichen Bestimmungen zur Lasersicherheit kennen.

Folie 10: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

## Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG)

ArbSchG

### § 25 Bußgeldvorschriften

(1) Ordnungswidrig handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig

1. einer Rechtsverordnung nach § 18 Abs. 1 oder § 19 zuwiderhandelt, soweit sie für einen bestimmten Tatbestand auf diese Bußgeldvorschrift verweist, oder
2. a) als Arbeitgeber oder als verantwortliche Person einer vollziehbaren Anordnung nach § 22 Abs. 3 oder b) als Beschäftigter einer vollziehbaren Anordnung nach § 22 Abs. 3 Satz 1 Nr. 1 zuwiderhandelt.

### § 26 Strafvorschriften

Mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder mit Geldstrafe wird bestraft, wer

1. eine in § 25 Abs. 1 Nr. 2 Buchstabe a bezeichnete Handlung beharrlich wiederholt oder
2. durch eine in § 25 Abs. 1 Nr. 1 oder Nr. 2 Buchstabe a bezeichnete vorsätzliche Handlung Leben oder Gesundheit eines Beschäftigten gefährdet.

Folie 11: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

## Persönliche Schutzausrüstung



geeignete Laser Schutzbrille.  
min D LB3 | LB4

+



IPG LightWELD Helm DGVU Zulassung!



Hitzebeständige und schwer entflammbare Arbeitskleidung für Schweißarbeiten.



Atemschutzmasken



Quelle IPG Laser

Folie 12: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.



## Arbeitsbereich

- LightWELD darf nur mit zugangsbeschränktem Arbeitsbereich betrieben werden
- Abgenommene lasersichere blickdichte Umhausung
- 2 kanalig abgesicherte Zutrittstür
- Zellen und Prozessabsaugung
- ausreichende Lichtquellen

Quelle IPG Laser

Folie 16: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

## LightWELD Anwendungsgebiet

### Was sind die Vorteile gegenüber den WIG schweißen?

- Prozess ist bis zu 4x schneller
- Schweißen von ungleichen Metallen & verschiedener Dicke
- Sehr niedriger Wärmeeintrag und minimierte Wärmeeinflusszone
- Oberflächenreinigung kann mit dem LightWELD XC Modell erfolgen
- Drahtförderer Steuerung
- Ästhetisch ansprechende Kehlnähte für starke Verbindungen
- Vorgespeicherte Programme



Quelle IPG Laser

Folie 17: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

## LightWELD Leistungsdaten

- Laser Leistung von 150 W -1500 W durchgehende Leistung (CW-Mode)
- Pulsbetrieb bis zu 2500 W (HPP-Mode)
- Wobble Frequenz von 0 Hz – 300 Hz
- XC Modelle mit Reinigungsfunktion → max. 60 Hz.
- Nahtbreite von 0mm - 5,0mm
- XC Modelle in der Reinigungsfunktion, bis zu 15mm Bearbeitungsbreite
- 10 IPG Programme mit Unterprogrammen
- Kunde kann zusätzlich 20 individuelle Programme erstellen

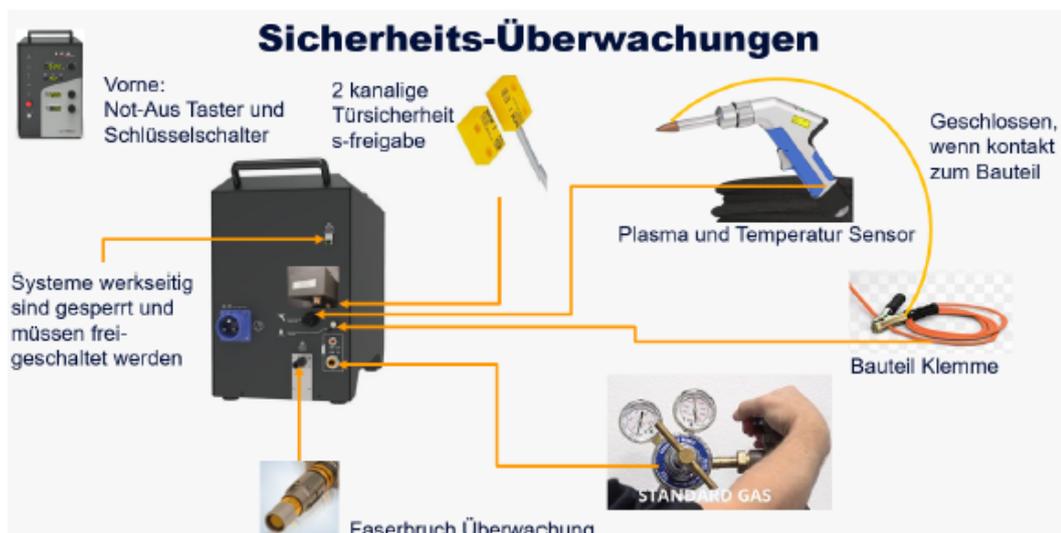
Quelle IPG Laser

Folie 18: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.



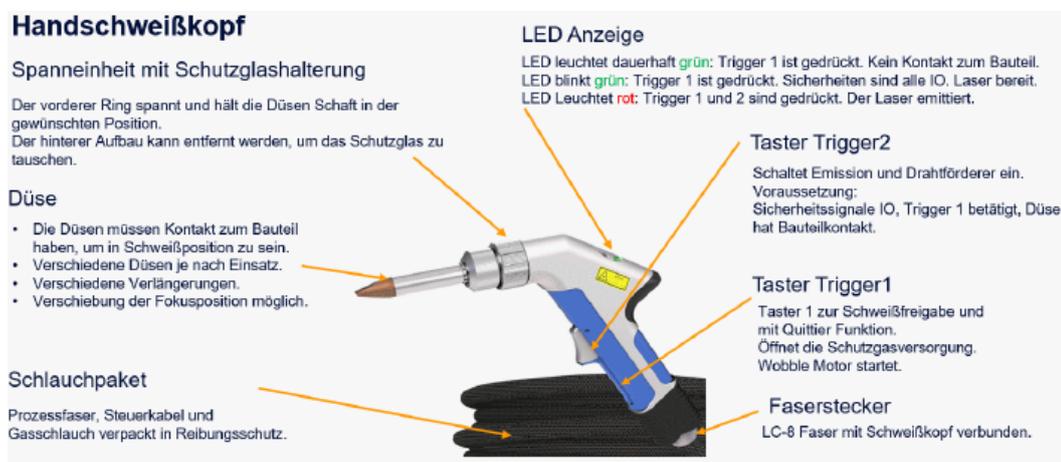
Quelle IPG Laser

Folie 19: Hand-Laserschweißen: Aufbau und Komponenten IPG Handlasersysteme.



Quelle IPG Laser

Folie 20: Hand-Laserschweißen: Aufbau und Komponenten IPG Handlasersysteme.



Quelle IPG Laser

Folie 21: Hand-Laserschweißen: Aufbau und Komponenten IPG Handlasersysteme.



Quelle IPG Laser

Folie 22: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.

## Zusammenfassung

- LightWELD ist ein wartungsfreies System
- schnelles Erlernen von Schweißen ohne Vorkenntnisse
- optional arbeiten mit Zusatzdraht möglich
- vordefinierte Programme für noch einfacheres Arbeiten
- Laser für verschiedene Blechdicken und Einschweißstiefen
- Reinigungsfunktion für noch bessere Schweißergebnisse
- Ständige Weiterentwicklung des Produktportfolios/Anwendungen

Quelle IPG Laser

Folie 23: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.



Quelle IPG Laser

Folie 24: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.



AlMgSi Legierung auf Stoß mit dem Handlaser geschweißt, Zusatzwerkstoff AlMg4,5Mn 1,0mm und ARGON 4.8 Schweißgeschwindigkeit 70cm/min.

Quelle IPG Laser

*Folie 25: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.*



Hochlegierter Stahl mit dem Handlaser geschweißt mit Zusatzwerkstoff 1.4576 in 1,0mm und Stickstoff. Schweißgeschwindigkeit: 100 cm/min.

Quelle IPG Laser

*Folie 26: Hand-Laserschweißen: Sicherheit, Zubehör, Schweißen.*

Das Handlaserschweißen wird zukünftig ergänzend das Lichtbogenschweißen in einigen Bereichen ergänzen!

Der Handlaser kann, wenn alle notwendigen Sicherheitsvorkehrungen getroffen sind, gerade in der Kleinserienproduktion, bei Blechstärken von 0,8mm- 4,0mm. seine Stärken ausspielen. Aufgrund der hohen Schweißgeschwindigkeiten sind einfache Hilfsmittel wie, Lineale, Hilfslinien und Auflagen mit Rollen von Vorteil und notwendig. Auch muss der Bediener immer wieder Pausen machen und seine „Sensorik“ (Augen, Hände) ausruhen.

Reiz GmbH, Quellen: IPG Laser, Institut Rey, DGUV, BG Etrem

Dies ist

# Die neue CenTIG 200

Ein neues einphasiges  
WIG-Schweißgerät, das eine  
unübertroffene Leistung bei  
200 Ampere bietet.

## Nur 13 kg.

Erkunden Sie die CenTIG *hier*



**MIGATRONIC**

Migatronik Schweißmaschinen GmbH

Telefon: (+49) 0641/98284-0

info@migatronik.de

**MIGATRONIC**

A MIGATRONIC robotic arm is shown in a factory setting, performing a welding task. The arm is silver and black, with the brand name 'MIGATRONIC' printed on its upper section. The background is a blurred industrial environment with various metal parts and machinery. The overall color scheme is a dark, monochromatic green.

MIGATRONIC

Am Wettbewerb teilnehmen

**Gewinnen Sie einen CoWelder**

für ein ganzes Jahr

[Nehmen Sie hier teil](#)

**MIGATRONIC**

# Reused Steels-Wiederverwendende Stähle – Ein Überblick zum gegenwärtigen Stand der europäischen Normung

R. Schasse, Magdeburg

---

## 1. Einleitung

In der jüngeren Vergangenheit trifft man vermehrt im konstruktiven Stahlbau die Bauweise der „Reused Steels“ oder der „Wiederverwendenden Stähle“ an.

Diese Bauweise an sich stellt keine grundlegende Neuerung im Stahlbau dar. Die erneute Verwendung oder Umnutzung bestehender Tragwerksteile oder vollständiger Tragwerke ist seit vielen Jahren üblich und an sich keine Neuerung. Die besondere Bauweise der Stahlkonstruktionen hat sich gegenüber den Bauweisen anderer Konstruktionswerkstoffe schon von Beginn an dafür in besonderem Maße als geeignet erwiesen. Neu ist allerdings, die Art und Weise sowie die beabsichtigte Größenordnung wie diese „Reused Steels“ am Markt Verwendung finden sollen.

Im folgenden Beitrag, welcher an dieser Stelle nur einen Überblick über die aktuellen Entwicklungen geben kann, sollen zunächst der grundlegende Ansatz für diese Bauweise dargelegt werden. Weiter einige Ausführungen zu der Idee der Wiederverwendung von Stahlbauteilen und deren Einordnung in das europäische Gesamtkonzept. Ferner wird auf den Entwurf zur „Neuen Bauproduktenverordnung“, als gesetzlich Grundlage des Bauens in Europa eingegangen und wie diese dortig hinterlegten Anforderungen an die Bauweise der „Reused Steels“ umgesetzt worden.

## 2. Der „Green Deal“ der Europäischen Union

Mit der Verabschiedung des Green Deals im Dezember 2019 ist es Ziel und Ansinnen der Europäischen Union bis zum Jahr 2050 keine Netto-Neuemissionen an schädlichem Kohlendioxid zu produzieren. Besonderer Focus liegt dabei auf dem Bauwesen, denn der Neubau und Abriss von Gebäuden sind für ca. 35% der Müllproduktion in Europa verantwortlich. Ferner verbraucht das Bauwesen ca. 40%-50% der Rohstoffe, welche zumeist mit umweltzerstörenden Technologien abgebaut, gewonnen und aufbereitet werden.

Anspruch bei der Umsetzung des „Green Deal“ ist dabei, dass keine Region innerhalb der EU wirtschaftlich abgehängt oder unterentwickelt werden darf. Für die Umsetzung sind eine Reihe von Maßnahmen und Gesetzen bereits verabschiedet, auf den Weg gebracht oder in der Entwicklung, so z.B. zur Recyclfähigkeit von Materialien und Produkten, die Weiterentwicklung der EPBD-Zertifikate oder die Taxonomie. Eine dieser Maßnahmen zur Vermeidung von Müll und Emissionen stellt die Wiederverwendung nicht mehr benötigter Tragwerke bzw. Tragwerksteile dar. Durch die Wiederverwendung von Stahlbauteilen werden einerseits Emissionen aus Rückbau, dem Transport und dem Einschmelzen der Stahlkomponenten vermeiden und andererseits Neuemissionen bei der erneuten Herstellung eines neuen Stahlprofils sowie dessen Distribution zum erneuten Verarbeiter. Bestenfalls wird aus einem als Schrott deklarierten Stahlprofil HEA 300 wieder ein neues Stahlprofil HEA 300 hergestellt.

## 3. Die Bauweise der „Reused Steels“

Der Ansatz der „Reused Steel“-Bauweise besteht nun darin, nicht mehr benötigte einzelne Stahlbaukomponenten aufzubereiten und diese über eine Handelsplattform dem Markt wieder zuzuführen (Abb. 1). Ein erstes Grundsatzdokument dazu wurde mit dem Projekt „PROGRESS“ in den Jahren 2017 bis 2020 unter internationaler Beteiligung mehrerer Institute und Unternehmen erarbeitet. Dementsprechend werden folgen Konstellationen für die Wiederverwendung hergestellter Stahlbauteile vorgenommen [EUROPÄISCHE KOMMISSION, PROGRESS, 2020].

Dementsprechend, und so aus vielen Praxisbeispielen auch bekannt, wird die gesamte Stahlkonstruktion wiederverwendet (D1). Zumeist aus Vergangenheit bekannt, standorttreu. Das Tragwerk selbst erfährt dabei entweder eine Umnutzung oder wird in der bisherigen Weise, ggf. nach einer Grundsanierung, mit demselben Verwendungszweck weiter betrieben. Andererseits sind auch eine vollständige Demontage und erneute Montage an anderer Stelle denkbar.

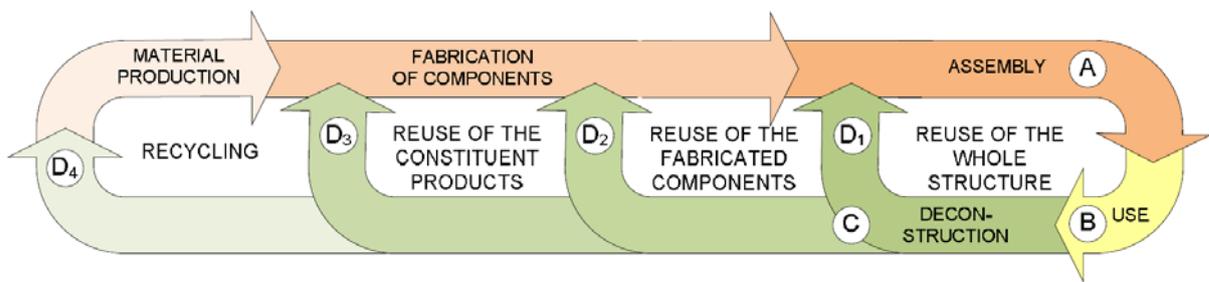


Abb. 1: Konstellationen für „Reused Steels“.

Des Weiteren ist die erneute Verwendung von bereits hergestellten vollständigen Bauteilkomponenten vorgesehen. Diese könnten beispielsweise Fachwerkbinder einer Hallenkonstruktion sein. Diese finden in der vorliegenden Form (nach entsprechender Aufbereitung) in der vorliegenden Form Berücksichtigung. Es sind aber auch gefertigte Bauteile denkbar, welche aus irgendwelchen Gründen nicht verbaut worden sind und nun einem anderen Abnehmer und ggf. Verwendungszweck zugeordnet werden. In dritter Konstellation werden einzelne Bauteile derartig aufbereitet, dass Anschlussbauteile, wie Kopf- und Fußplatten abgetrennt werden, und das verbleibende Stahlprofil des Trägers/der Stütze dem Markt als ein „gebrauchtes Produkt“ zugeführt wird. Eventuell vorhandene und nicht störende Anarbeitungen, wie Bohrungen oder eingeschweißte Aussteifungsrippen, verbleiben im Bauteil.

#### 4. Die „Neue Bauproduktenverordnung“

Gesetzliche Grundlage für das Inverkehrbringen von Bauprodukten bildet die Europäische Bauproduktenverordnung. Die Bauproduktenverordnung definiert dabei nur die Anforderungen an die Bauprodukte selbst, die Regelungshoheit für die Tragwerke/Gebäude als Gesamtheit liegt bei den einzelnen Mitgliedsstaaten. In Deutschland wird diese über die jeweiligen Landesbauordnungen geregelt.

Seitens der Europäischen Kommission liegt seit März 2022 ein Vorschlag für die Neufassung der Bauproduktenverordnung vor [EUROPÄISCHE KOMMISSION, COM(2022)144 final,2022]. Diese befindet sich derzeit im europäischen Gesetzgebungsverfahren.

Darin wird an verschiedenen Stellen die Wiederverwendung von Produkten explizit geregelt. Erweiternd zur bisherigen Bauproduktenverordnung werden, neben den Herstellern und Händlern, nun auch Demontagebetriebe und die Dienstleistungsunternehmen, welche die Aufbereitung gebrauchter Produkte vornehmen, mit in die Leistungs- und Erklärungspflichten einbezogen. Umfasst werden dabei alle drei Konstellationen, wie sie als mögliche Szenarien der Wiederinverkehrbringung von „Reused Steels“ nach dem EU Progress behandelt worden sind. Der Focus der Leistungs- und Erklärungspflichten liegt dabei auf den Einzelprodukten. Damit einhergehend stellt dies eine Erweiterung zur bisherigen Bauproduktenverordnung von einer Systemzertifizierung zu einer Produktzertifizierung dar.

Ferner ist festzustellen, dass eine Vielzahl von Leistungselementen und Verpflichtungen, wie sie aus dem Produkthaftungsrecht bekannt sind, nunmehr auf die Protagonisten übertragen werden. So bedarf es nach Anhang I, Abschnitt C für die „Reused Steel“-Produkte Risikoanalysen und gegebenenfalls Produktwarnungen durch den Inverkehrbringer [EUROPÄISCHE KOMMISSION, COM(2022)144 final,2022]. Darüber hinaus müssen der Verwendungszweck und der mögliche bzw. wahrscheinliche Fehlgebrauch dargestellt werden. Das Leistungsspektrum erweitert sich auch dahingehend nach einer Produktbeobachtungspflicht (bekannt aus dem deutschen Produkthaftungsrecht) für den Hersteller.

Verantwortlicher Inverkehrbringer muss dabei nicht zwangsläufig das den „Reused Steel“ verarbeitenden Unternehmen sein, es kann auch den Demontagebetrieb oder den Stahlhändler betreffen [EUROPÄISCHE KOMMISSION, COM(2022)144 final,2022, ARTIKEL 29].

Weitere, im Vergleich zur gegenwärtigen Bauproduktenverordnung, erweiternde Leistungsgegenstände sind eine umfangreiche Dokumentation zum Produkt des „Reused Steel“, welche auch Aussagen zum Verwendungszweck, detaillierte Darstellungen zu den Randbedingungen des Gebrauchs und zur erwarteten Restlebensdauer des „Reused Steel“-Produktes einfordert.

## 5. Die Technische Spezifikation TS WI 00135033

Hinsichtlich der technischen Umsetzung der Anforderungen an die Bewertung, Aufarbeitung und Prüfung der Wiederverwendenden Stahlprodukte existiert ein Entwurf des für das Bauwesen zuständigen europäischen Normungskomitees (CEN 135). Der Entwurf liegt derzeit als Technische Spezifikation (da seitens der EU Kommission kein Mandat vorliegt) vor. Voraussichtlich soll er als ein Teil der Normenreihe zur EN 1090 erscheinen und sich damit in die Produktnomen zur Herstellung von Stahlkonstruktionen einordnen. Für Deutschland existiert dazu eine Zusammenarbeit von zwei Spiegelausschüssen, dem der Herstellung von Stahlbauten (NA 005-08-14) und dem der Tragwerksbemessung (NA 005-08-16).

Umfassend eingesetzt werden dürfen „Reused Steel“-Produkte für die Ausführungsklassen EXC 1 und EXC 2. Auch für Tragwerke der Ausführungsklasse EXC 3 dürfen sie Verwendung finden, insofern keine Dauerfestigkeits- oder seismische Beanspruchungen für das neue Tragwerk vorliegen. Wiederaufbereitete Produkte aus vormals EXC 3-Tragwerken mit Dauerfestigkeitsbeanspruchungen (z.B. Kranbahnträger) dürfen aber eine erneute Verwendung finden.

Grundsätzlich bedarf es im Zuge der Demontage der Installation eines Rückverfolgbarkeitssystematik durch das demontierende Unternehmen, woraus die vormalige Einbaustelle und Funktion des rückgebauten Bauteils nachvollzogen werden kann. Ferner soll das Gesamttragwerk sinnvoll in sogenannte Testlosgrößen (zu maximal 20 Tonnen Gesamtgewicht) unterteilt werden. Solche Testlosgrößen könnten z.B. alle Stützenbauteile, alle Verbände, alle Dachbinder usw. sein.

In der weiteren Betrachtung und Beurteilung der Tragwerke wird eine Unterteilung in Typ 1-Stahltragwerk und Typ 2-Stahltragwerk vorgenommen. Grenzdatum für die Unterteilung bildet die Herstellungsjahr 1970. Alles ab 1970 errichtete entspricht nach dieser Einteilung dem Typ 1.

Weiter erfolgt eine Unterteilung in vier Protokolltypen, von Typ A bis Typ B (siehe Abb. 2).

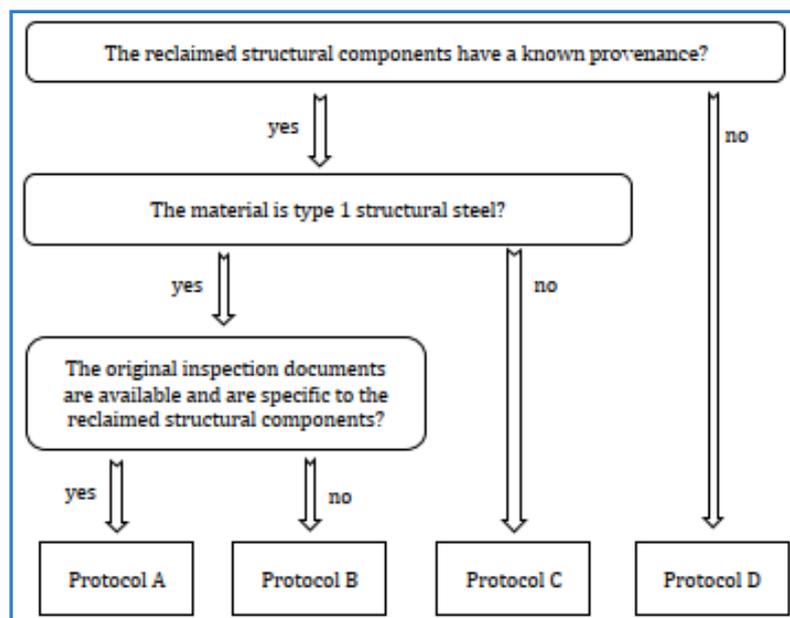


Abb. 2: Protokolltypen für „Reused Steels“.

Bauteile, die dem Protokolltyp A zugeordnet werden können, wurden in oder nach 1970 hergestellt und die Originaldokumentation liegt vollständig vor. Dann bedarf es keiner Materialuntersuchungen und das Produkt kann verwendet werden.

Bei dem Protokolltyp B-Bauteilen ist keine Ursprungsdokumentation mehr vorhanden oder verfügbar. Die Stahlkonstruktion wurde aber in/nach 1970 errichtet und deren Nutzungszweck über die bisherige Lebensdauer (als „bekannte Herkunft“ bezeichnet) ist dokumentiert respektive bekannt. In diesem Fall bedarf ergänzender Prüfungen hinsichtlich chemischer Analyse und mechanischer Kennwerte an einem repräsentativen Bauteil der zusammengestellten Testlosgröße.

Protokolltyp C werden Bauteile zugeordnet, bei denen die Herkunft als bekannt gilt, diese aber vor 1970 errichtet wurden. Auch hier werden ergänzende mechanische Prüfungen wie bei Protokolltyp B erforderlich, jedoch an drei definierten Bauteilen der jeweiligen Testlosgröße.

Stahlkonstruktionen unbekannter Herkunft werden unabhängig von dem Herstellungsjahr dem Protokolltyp D zugeordnet und alle Bauteile bedürften einer ergänzenden Prüfung ihrer chemischen Zusammensetzung und mechanischer Kennwerte.

## 6. Zusammenfassung

Aus Sicht des Verfassers ist die Technische Spezifikation für Tragwerke, welche nach den Regularien der EN 1090-2 hergestellt wurden, gut anwendbar.

Für andere Bauprodukte enthält die Technische Spezifikation eine Reihe von Schwächen in Bezug auf die Umsetzung der Anforderungen der „Neuen Bauproduktenverordnung“ und bei der Berücksichtigung der veröffentlichten Urteile zum Produkthaftungsrecht im Bauwesen.

Wichtige Werkstoffe, wie Nichtrostende Stähle, (Stahl-)Gussbauteile und Dünnblechkonstruktionselemente (nach DIN EN 1090-4) sind nicht erfasst oder werden explizit ausgeschlossen. Das schränkt den Anwendungsbereich deutlich ein.

Das bedingungslose Vertrauen, ohne ergänzende Prüfungen, auf die Bestandsdokumentation im Fall der Protokolltyp A-Bauteile widerspricht einerseits den Erfahrungen der Bauwerksprüfungen von Bestandstragwerken und andererseits den Urteilen der letzten Jahrzehnte. Die ungeprüfte Verwendung von Materialien, basierend ausschließlich auf das Vorhandensein von Materialzeugnisse der Lieferanten, ist nicht einmal für die Neubaufertigung zulässig (Stichwort: Entscheidungen zu Wareneingangsprüfungen).

Darüber hinaus werden keinerlei Aspekte der Materialbeeinflussung durch fertigungsbeeinflussende Maßnahmen, wie thermisches Richten, Stanzen, berücksichtigt. Weiter noch, gab es z.T. unterschiedliche Regelungen in den einzelnen heutigen Mitgliedsstaaten der EU, als diese noch kein Mitglied in der EU waren und den harmonisierten Regelwerken unterlagen. Diesbezügliche Betrachtungen fehlen.

Auch die Unterteilung in Testlosgrößen ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nachvollziehbar, widerspricht aber den Regelungen der „Neuen Bauproduktenverordnung“ und dem Produkthaftungsrecht (Stichwort: Wareneingangskontrolle). Die vorgegebenen Prüfungen an einzelnen Bauteilen der Testlosgrößen haben bestenfalls Stichprobencharakter, was nur für Serienbauteile zulässig wäre, nicht aber für Individualprodukte.

Aus alledem folgt, dass nach Meinung des Verfasser dem erneuten Inverkehrbringer von „Reused Steel“-Produkten bei der Anwendung der derzeitig vorliegenden Technischen Spezifikation in ungebührlicher Weise ein erhöhtes Risiko einer möglichen Produkthaftung und der Nichterfüllung dem gegenwärtig vorliegenden Wortlaut der „Neuen Bauproduktenverordnung“ aufgebürdet wird. Es wäre damit einhergehend eine Ablehnung der Bauweise durch die Marktteilnehmer zu befürchten.

## 7. Literatur

- [1] BCSA 65-2022; Specification for Building Construction-Annex J Sustainability Specification, 2022.
- [2] CEN/TC 135/WG 2 CEN-TC 135\_N1106; CEN-TS WI 00135033 (E) Reuse of structural steel, 2023-07-13, Marked changes from N1090.
- [3] Europäische Kommission; Provisions for a Greater Reuse of Steel Structures, 2017-2020, Final Report, Directorate-General for Research and Innovation, 747847-PROGRESS-RFCS-2016/RFCS-2016.
- [4] Europäische Kommission; Vorschlag für eine Verordnung zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011, COM(2022) 144 final, 2022/0094 (COD), 30.03.2022.
- [5] Gustafson et al: Structural Steel Reuse Classification, DTU-Danmarks Tekniske Universitet, 2022, SCI-P427; Structural Steel Reuse-Assessment, Testing, Design, 2019.

## Autorenverzeichnis

**Ralf Boywitt**, GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV Berlin-Brandenburg, Berlin  
[Ralf.Boywitt@slv-bb.de](mailto:Ralf.Boywitt@slv-bb.de)

**M.Sc. Annkathrin Heinrich**, TU Braunschweig, Institut für Bauwerkserhaltung und Tragwerk, Braunschweig  
[a.heinrich@bauwerkserhaltung.tu-braunschweig.de](mailto:a.heinrich@bauwerkserhaltung.tu-braunschweig.de).

**Rolf Marahrens**, Reiz GmbH, Essen  
[marahrens@reiz-schweisstechnik.de](mailto:marahrens@reiz-schweisstechnik.de)

**M. A. Volker Mende**, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte, Freiberg  
[Volker.Mende@iwtg.tu-freiberg.de](mailto:Volker.Mende@iwtg.tu-freiberg.de)

**Dipl.-Ing. Jochen W. Mußmann**, VAIS Verband für Anlagentechnik und IndustrieService e.V., Düsseldorf  
[j.mussmann@vais.de](mailto:j.mussmann@vais.de)

**Dr.-Ing. Ralf Polzin**, Technologie-Institut für Metall & Engineering GmbH (TIME), Wissen  
[ralf.polzin@time-rlp.de](mailto:ralf.polzin@time-rlp.de)

**Dr.-Ing. Rene Schasse**, Schweißtechnische Lehranstalt Magdeburg gGmbH, Barleben  
[schasse@sl-magdeburg.de](mailto:schasse@sl-magdeburg.de)

**Dr.-Ing. habil. Jochen Schuster**, SLV Halle GmbH, Halle  
[schuster@slv-halle.de](mailto:schuster@slv-halle.de)

**Axel Vogelsang**, Messer Cutting Systems GmbH, Groß-Umstadt  
[Axel.Vogelsang@messer-cutting.com](mailto:Axel.Vogelsang@messer-cutting.com)

# Posterbeiträge



# Methode zur Erzeugung und Beurteilung von schweißbedingten Rissen beim Widerstandspunktschweißen

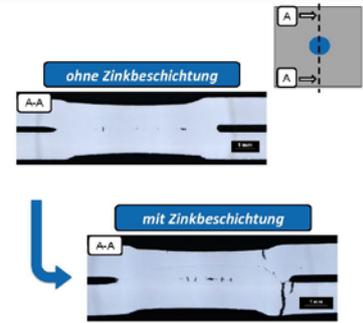
## Ausgangssituation

- **Höchstfeste Stähle** der dritten Generation (3G AHSS), werden vermehrt in der Automobilindustrie eingesetzt  
→ Reduktion der erforderlichen Blechdicken
- **Problematik:** flüssigmetallinduzierte Rissbildung (LME) durch die Zinkbeschichtung während des Widerstandspunktschweißens
- **LME-Risse** sind bisher nur **bedingt reproduzierbar**
- **Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften** in Abhängigkeit der Rissgröße ist bisher **nicht quantifiziert**

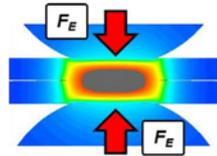
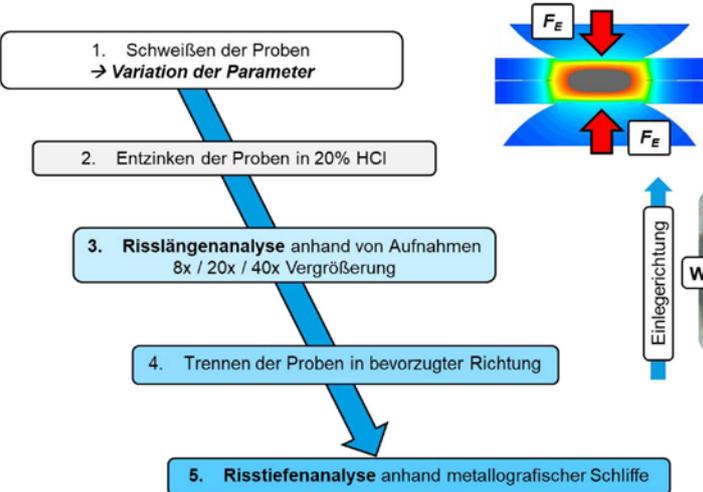
## Hoch- und höchstfeste Stähle in der Karosserie



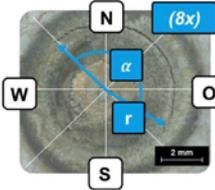
Quelle: Volvo Car Corporation.  
J:https://www.media.volvocars.com/WUle-w/media/stock/2024/02/05-05-safety-rag-wib-hes1\* (2023)



## Methodisches Vorgehen zur Risscharakterisierung



Einlegeneichtung



$$b = r * 2 * \pi * \frac{\alpha}{360}$$

b = Risslänge  
r = Abstand zum Mittelpunkt der Schweißlinse  
α = Risswinkel



## Projektidee

- **Gezielte und reproduzierbare Erzeugung von LME-Rissen** durch die **Einstellung von definierten Spannungszuständen und Temperaturprofilen**
- **Zerstörungsfreie Prüfung** mittels **Wirbelstromprüfung und CT-Scans**
- Untersuchung des **Einflusses unterschiedlicher Risse auf die statischen und dynamischen Verbindungseigenschaften**

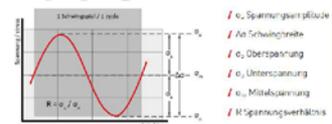
## Untersuchung der mechan. Eigenschaften

### Statisch

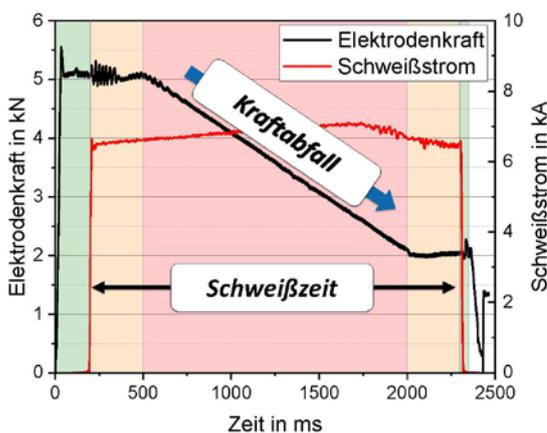
- **Scher- und Kopfzugprüfung**

### Dynamisch

- **Schwingfestigkeitsprüfung**



## Methode zur Risserzeugung mittels abfallendem Kraftprofil



- **Reproduzierbare Erzeugung von signifikanten LME-Rissen** möglich
- Einstellung **unterschiedlicher Rissgrößen** mittels **Parametervariation**

## Weiteres Vorgehen

- Klassifizierung der Risse nach Ort, Länge und Tiefe
- Qualifizierung einer zerstörungsfreien Prüfmethode
- Untersuchung der mechanischen Eigenschaften bei unterschiedlichen Rissklassen





# Additive Herstellung von Aluminiumschäumen mittels additiver MIG-Schweißtechnologie und H<sub>2</sub>-haltigem Schutzgas

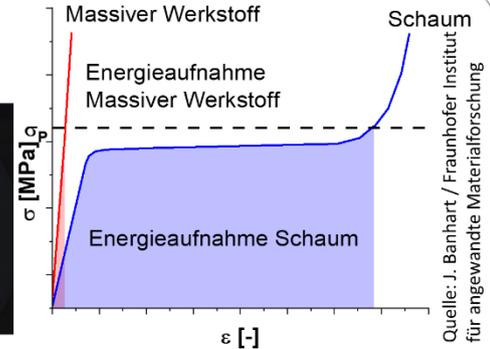
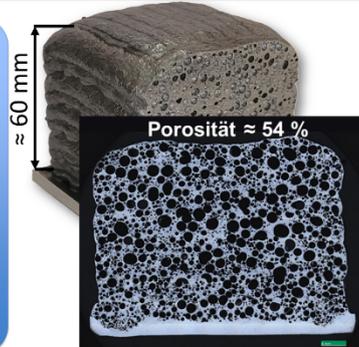
## Technische Problemstellung und Projektidee

### Aluminiumschäume

- hohes **Energieaufnahmevermögen** unter Druckbelastung
- gutes **Masse-Steifigkeits-Verhältnis**
- **recyclebar**, korrosionsbeständig

→ Potenzial im Einsatz für **energieabsorbierende Strukturen** im Fahrzeugbau oder für **Explosionsschutz**

- **ABER: Formgebung beschränkt** auf einfache Blech oder Profilstrukturen



Quelle: J. Banhart / Fraunhofer Institut für angewandte Materialforschung

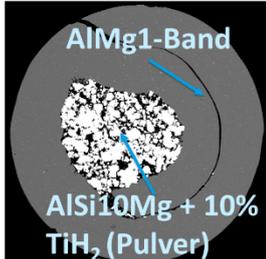
### Projektidee

- Gezieltes **Einbringen von H<sub>2</sub>** in den **MIG Schweißprozess** um additive Strukturen aus „aufgeschäumten“ Schweißnähten herzustellen (Beispiel für additiv hergestellten Schaumblock s.o.)

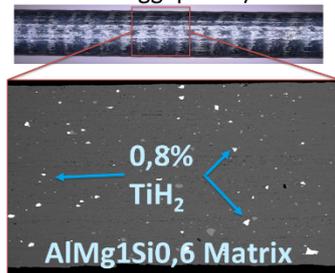
## Untersuchte technologische Möglichkeiten zur Umsetzung

### TiH<sub>2</sub>-versetzte Al-Drahtelektroden

Al-Fülldrahtelektrode mit Treibmittelfüllung (D1,6 mm)



Massivdrahtelektrode D1,6 mm (aus Pulver kontinuierlich stranggepresst)



- ✗ **Aufwendige/teure Herstellung; Schaumstruktur beim Überschweißen teilweise zerstört**

### Standard-Drahtelektroden und H<sub>2</sub>-haltiges Schutzgas



#### Drahtelektroden

- AlSi5, AlSi12, AlSi10Mg
- D 1,2 mm

#### Schutzgase

- Formiergas 95/5 oder 90/10 (N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>)
- V ≈ 16 l/min

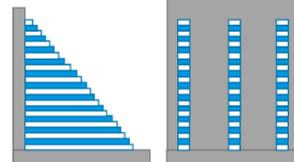
#### Prozess:

- **Energiereduziert** er KLB (hier: mit reversierender Drahtbewegung)
- E<sub>s</sub> ≈ 1 – 2 kJ/cm

- ✓ **Einfache/kostengünstige Umsetzung; Schaumstruktur beim erneuten Überschweißen nicht zerstört** (siehe Bilder)

## Potenzielle Anwendungsbeispiele

Modifikation von Bauteilen mit Crashabsorbierender Struktur



Herstellung von Versteifungsstrukturen mit hohem Leichtbaupotenzial

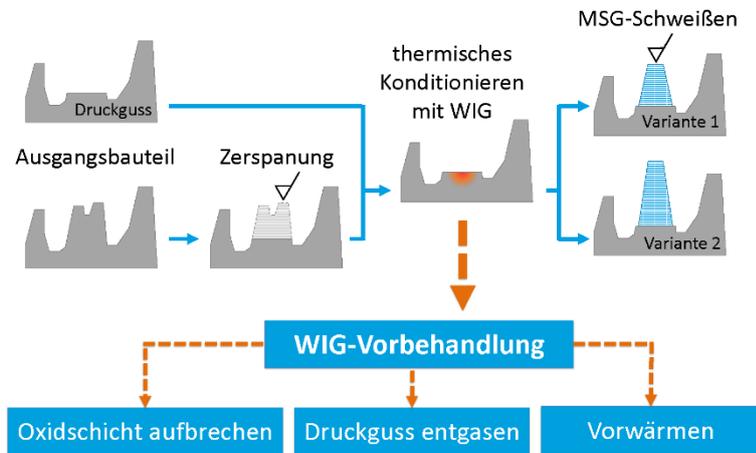




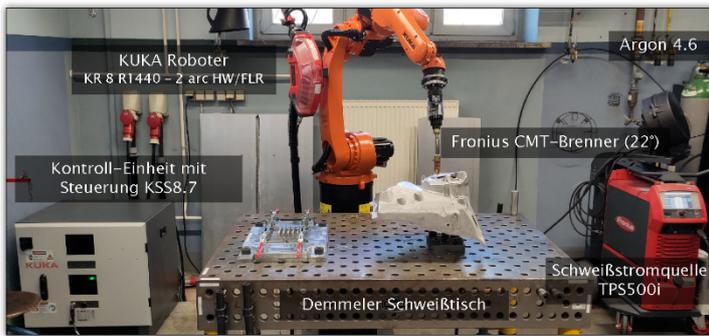
# Generatives MSG-Schweißen zur geometrischen Modifikation von Aluminium-Druckgussbauteilen – MSGenerAI

## Ausgangssituation

- Druckgussteile aus Al-Legierungen Bestandteil vieler Schweißkonstruktionen
- für Prototypenteile, neue Produktgenerationen, Derivate von Serienteilen oder Änderungen im Zeichnungsstand bestehender Al-Druckgussteile sind häufig lokale Anpassungen der bestehenden Bauteilgeometrie erforderlich
- derzeitige Lösungen für die Herstellung derartiger Bauteile in geringer Stückzahl (< 100) nicht so wirtschaftlich wie WAAM
- Problemstellungen beim Schweißen auf Aluminium-Druckguss ist u. A. die herstellungsbedingte Porosität des Grundwerkstoffes



## Versuchswerkstoffe und Anlagenaufbau



## Industrienahe Randbedingungen:

- Untersuchung von naturharten und aushärtbaren Schweißzusätzen und Substraten
- Anfertigen von verschiedenen additiven Strukturen auf Al-Druckguss, z.B. an einem Realbauteil wie einem Federbeindom aus Audi A8 (AlSi10MnMg)
- Anpassung der roboterunterstützten Bahnplanung des Schweißbrenners je nach additiver Geometrie
- Einhaltung eines prozessstabilen Temperaturmanagements



Federbeindom der Fa. Audi

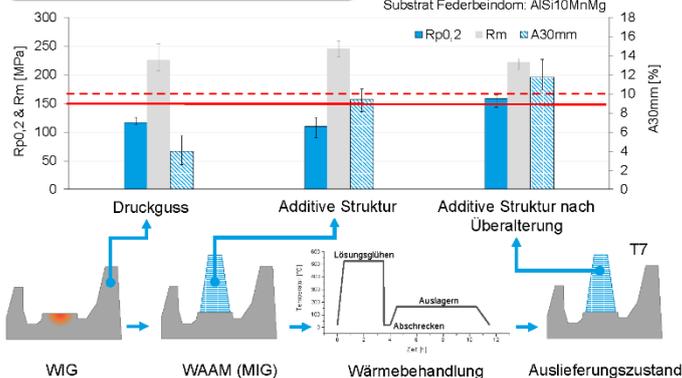
## Ergebnisse aus MSGenerAI

- Herausarbeiten von prozessstabilen Parametersätzen zum Aufbau additiver Strukturen für verschiedene SZW
- Erreichen der geforderten Festigkeitseigenschaften des Realbauteils in den additiven Strukturen nach einer Wärmebehandlung zum Erreichen des Zustandes T7 (Überalterung)

- Werkstoff wird durch lokale WIG-Umschmelzung auf den additiven Aufbau vorbereitet:
  - Reinigen der Oberfläche / Aufbrechen der Oxidschicht
  - Lokales Entgasen des Druckgusses
  - Vorwärmen auf ein prozessförderndes Temperaturniveau
- Abbildung des Technologiekonzepts auf einem Realbauteil
- Nach der Zerspanung sind Unterschiede für verschiedene Schweißzusatzwerkstoffe erkennbar. Während des additiven Prozesses gast der Werkstoff weiter aus. Die verschiedenen Erstarrungsintervalle sorgen für unterschiedliche Porosität.

## Untersuchung der mechanisch-technologischen Eigenschaften

— Referenz A<sub>30mm</sub> Federbeindom  
- - - Referenz R<sub>po,2</sub> Federbeindom  
Schweißzusatz: AlSi10Mg, Ø1,6 mm  
Substrat Federbeindom: AlSi10MnMg





# Vereinfachte Prüfmethode zur Bewertung der Gefahr wasserstoffinduzierter Kaltrisse (HACC) beim Lichtbogenschweißen hochfester Stähle

## Ausgangssituation

- Hydrogen Assisted Cold Cracking (HACC)  
→ Degradation mechanischer Eigenschaften des Werkstoffs
- verschiedene H-Quellen während des Schweißprozesses (z.B. Feuchtigkeit in Zusatz- und Hilfsstoff)

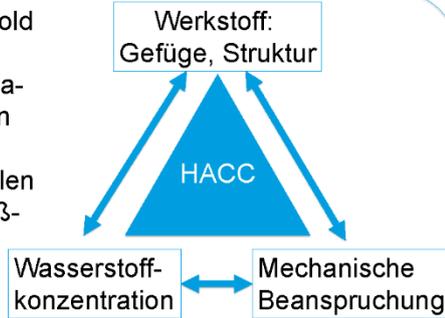


Bild 1: Einflussgrößen für HACC

## Versuchswerkstoffe

- Hochfeste Stähle:  
S700 QL, S960 QL  
(t = 10 mm und 20 mm)
- gute Schweißbarkeit
  - Feinkornbaustahl
  - Schweißzusatz ED-FK1 (S700) und ED-FK1000 (S960)
  - geringere Wasserstoffgehalte kritisch bei steigender Festigkeit

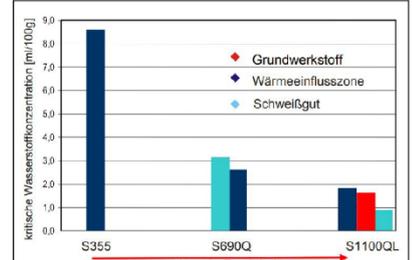


Bild 2: Kritische Wasserstoffgehalte bei steigender Festigkeit (Zimmer P. et al., IIW Doc II-A-141-04)

## Versuchsmethodik

### Durchführung der Schweißung an Ersatzproben (MSG, UP)

- Unterteilung der Ersatzprobe in Einzelsegmente
- Einzelsegmente für unterschiedliche Messungen (H-Messung, Metallografie, Zugproben, Härtemessung)
- identische Abmaße aller Einzelsegmente
- Verspannung der Einzelsegmente in einem Spannrahmen mit Spannschlitten

#### Einzelsegment

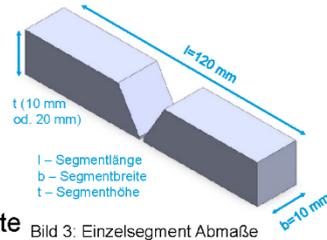


Bild 3: Einzelsegment Abmaße

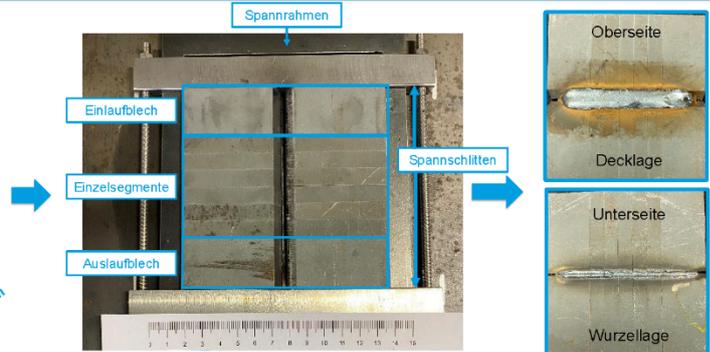


Bild 4: Eingespannte Ersatzprobe

Bild 5: Verschweißte Ersatzprobe

### Einbringung von Wasserstoff durch Schutzgasbefuchtung

- Variation des eingebrachten H<sub>2</sub> durch Veränderung des Volumensstroms des befeuchteten Gases

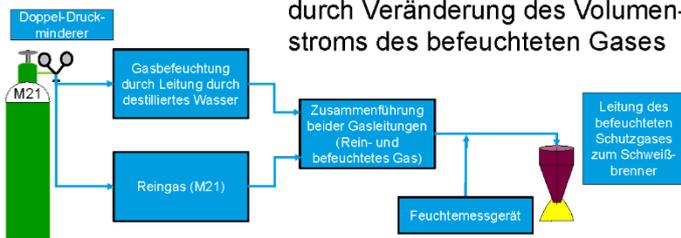


Bild 6: Befuchtungssystem des Schutzgases

### Trennung der Einzelsegmente

- Vorgehensweise nach DIN EN ISO 3690



- angepasste Vorgehensweise für die Ersatzprobe



- lokale Kühlung beim Sägen (ohne Kühlschmierstoff) der Ersatzprobe durch Aufblasen von Druckluft mit einem Wirbelrohr (Venturi-Prinzip)

### Konstant-Last-Versuche (KLV)

- Aufbringung einer konstanten Last über einen längeren Zeitraum (24 h)
- Durchführung der KLV mittels Zugprüfmaschine
- Aufbringung der Spannung bis 80 % der Streckgrenze
- Aufnahme des Traversenweges zur Überwachung des Rissentestens

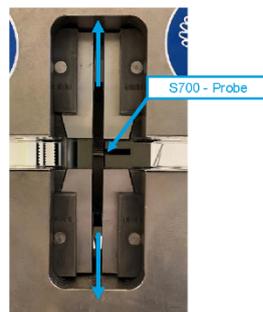


Bild 7: Konstant-Last-Versuch

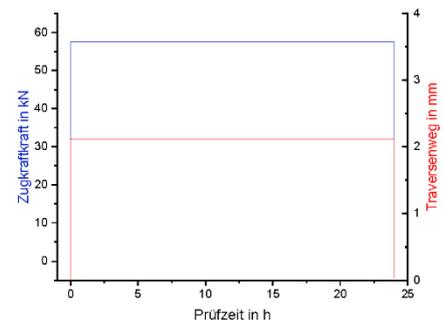


Bild 8: Zugkraft/Traversenweg-Prüfzeit-Diagramm des KLV





# Produktivitätssteigerung beim additiven Lichtbogenschweißen dünnwandiger Strukturen aus hochlegierten korrosionsbeständigen Werkstoffen

## Forschungsbedarf

- Notwendigkeit eines geeigneten Wärme-managements zum Absichern hoher Aufbauraten bei guter Bauteilqualität
- schlechte Wärmeableitung kann zu Schmelzbaddurchbrüchen und metallurgischen / geometrischen Inhomogenitäten führen
- lange Wartezeiten (durch Einhalten der Zwischenlagentemperatur) ist die häufigste Gegenmaßnahme gegen den Wärmestau
- Senkung der Leerlaufzeiten durch Kühlung möglich

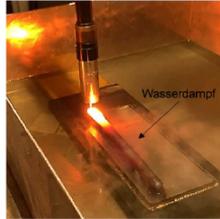


Bild 1: Direct Energy Deposition mit arc und wire (DED-AW) im Wasserbad

## Stand der Technik

- verschiedene Kühllansätze beim Direct Energy Deposition (DED)
- Vorteile: Reduzierung von Abkühl- und Nebenzeiten, höhere Endkonturnähe, geringerer Verzug, Reinigungseffekt
- Nachteile: eingeschränkte Anwendung bei geometrisch komplexen Strukturen, mögliche Lichtbogenstörungen

Kühlung	Natürlich	Intrinsisch	Passiv	Aktiv
Untertyp	direkt	direkt	indirekt	indirekt o. direkt
Wirkdauer	kontinuierlich	kontinuierlich	kontinuierlich	kontinuierlich
Kühlmittel	Luft	Schweißparameter	Gas o. Flüssigkeit	fest, Gas, Flüssigkeit
Applikation	natürlich	prozessinhärent	erzwungen	erzwungen

Bild 2: Ansätze für das Wärmemanagement beim DED-AW nach Da Silva (2019), <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2422>.

Forschungsinhalt

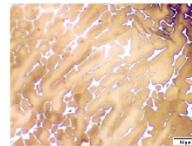
## Arbeitsplan

1. Fertigen von Referenzproben ( Pendel- / Strichraupe)
2. Erforschung aktiver Kühlmethoden am Austenit
3. Erforschung kombinierter Kühlmethoden am Austenit
4. Anwendungspotentiale für Duplex- und Ni-Legierung
5. Potentiale für MSG-Prozesse mit hoher Abschmelzleistung
6. Fertigung/Prüfung eines Demonstrators

## Versuchswerkstoffe

### Austenit G 19 12 3 L Si

- δ-Ferrit: 5-15 FN
- hohe Gütewerte, keine Sekundärphasen
- hohe Korrosionsbeständigkeit



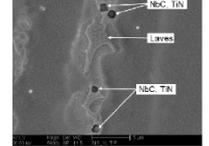
### Duplex G 22 5 3 N L

- δ-Ferrit: 30 % bis 70 %
- hohe Gütewerte, keine Sekundärphasen
- hohe Korrosionsbeständigkeit



### Ni-Superlegierung S Ni 7718

- keine Heißrisse
- hohe Gütewerte bei RT + ↑
- hohe Hochtemperatur-Korrosionsbeständigkeit



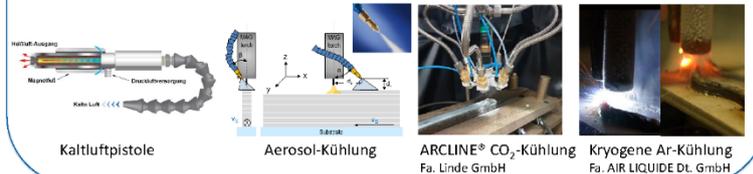
## Versuchsmethodik

### DED mit Lichtbogen und Draht (DED-AW)



Bild 3: Versuchsstände am IWF (OVGU)

Kühlmittel	Geräte
komprimierte Druckluft	Kaltluftpistole
Wassernebel (Aerosol)	Feinstzerstäubung mit Sprühsystem
CO <sub>2</sub> -Schnee + CO <sub>2</sub> -Gas (-78,5 °C)	kryogene Kühlung (Fa. Linde)
flüssiges Gas (Argon)	kryogene Kühlung (Fa. AirLiquide)



G 19 12 3 L Si v <sub>Dr</sub> = 4,9 m/min E = 5,4 kJ/cm <sup>2</sup>	G 22 5 3 N L v <sub>Dr</sub> = 6,1 m/min E = 6,5 kJ/cm <sup>2</sup>	S Ni 7718 v <sub>Dr</sub> = 4,8 m/min E = 4,9 kJ/cm <sup>2</sup>
---	---	--

Bild 4: Referenzproben mit Pendelraupe (Ø 240 mm) und MSG-CMT-Prozess

## Prüfmethode

- Nahtunregelmäßigkeiten (NDT)
- Gefüge (Makro / Mikro) und Härte
- Dendritenarmabstand, δ-Ferrit
- intermetallische Ausscheidungen (REM)
- mechanisch-technologische Gütewerte
- Lochkorrosion nach ASTM G48
- Oberflächenwelligkeit (3D-Profilometer)

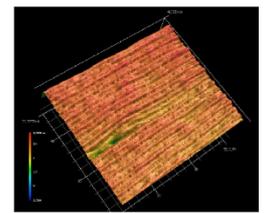


Bild 5: 3D-Visualisierung einer Oberfläche





# Vorankündigung

Die nächste

## Schweißtechnische Fachtagung

findet statt am:

**15. Mai 2025**

im IGZ Innovations- und Gründerzentrum GmbH  
in der Steinfeldstraße 3  
in 39179 Barleben.

**Schweißtechnische  
Lehranstalt Magdeburg**  
Gemeinnützige GmbH



**DVS** VERBAND  
DVS BV-MAGDEBURG





<https://www.dvs-home.de/dvs/vor-ort/landesverband-ost/bezirksverband-magdeburg>

**ISBN 978-3-948749-46-0**  
**DOI 10.25673/116050**  
**© 2024**