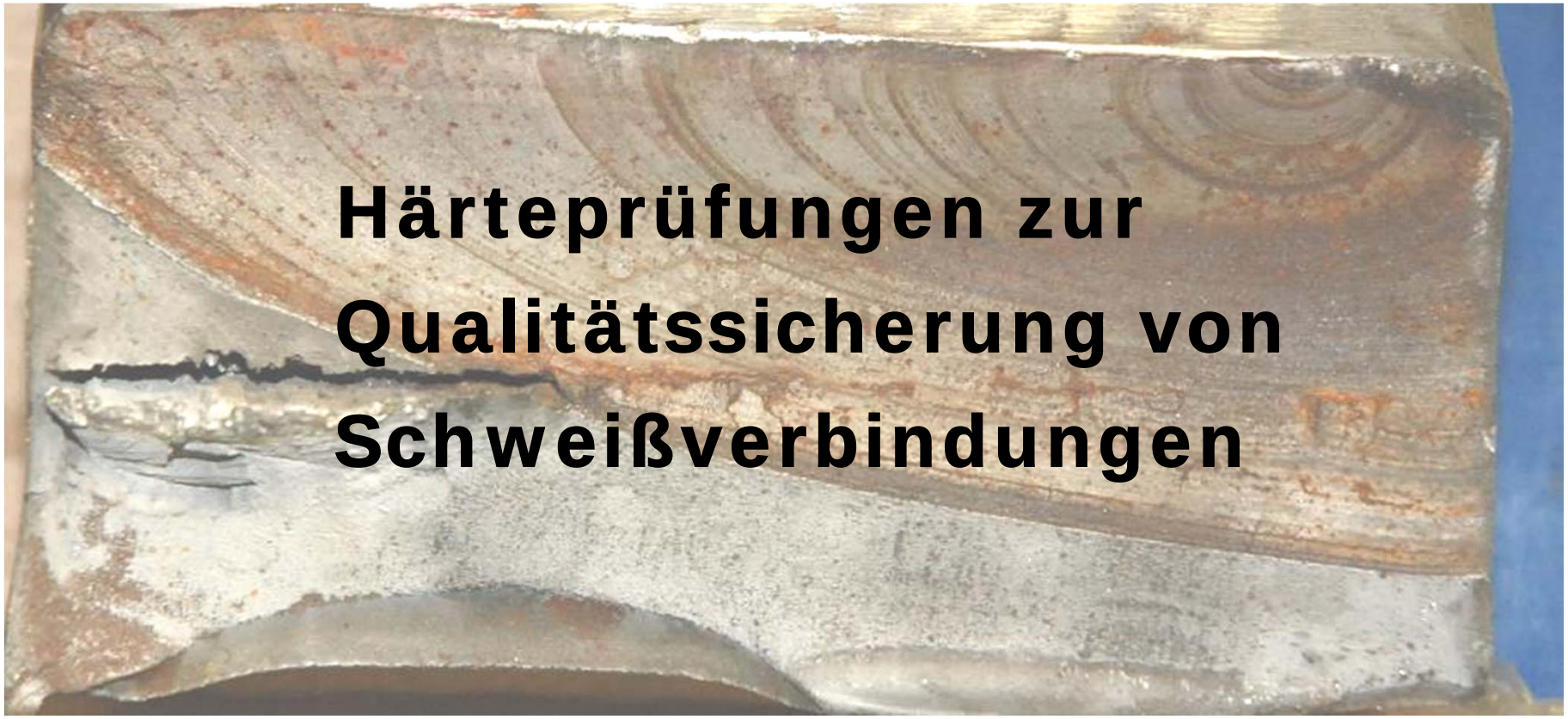
testXpo
Fachmesse für Prüftechnik

19. Oktober 2017 in Ulm



Härteprüfungen zur Qualitätssicherung von Schweißverbindungen

Dr.-Ing. Jörg Ellermeier, MPA-IfW, TU Darmstadt

Zentrum für Konstruktionswerkstoffe
MPA Darmstadt / IfW

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Kompetenzbereich
Mess- und Kalibriertechnik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Kompetenzfelder

Messtechnische Forschung
Dr.-Ing. J. Ellermeier

Kalibrierung und Prüfung von Werkstoffprüfmaschinen
Dipl.-Ing. A. Hecht

Kalibrierung von Kraft-, Drehmomentmessgeräten, Messverstärkern
Dipl.-Ing. M. Feldmann

VMPA KALIBRIERT MPA DARMSTADT

DAkkS
Deutsche Akkreditierungsstelle
D-PL-11048-01-00
D-K-11048-01-00

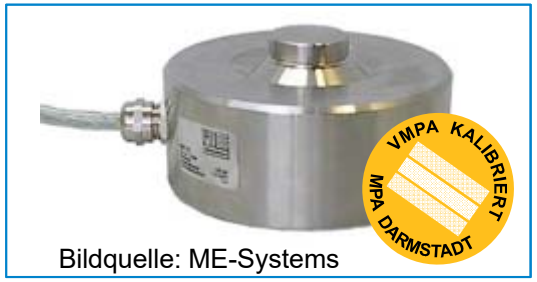
MPA Darmstadt

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle
D-PL-11048-01-00
D-K-11048-01-00

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Direkter Anschluss an nationale Normale
  - Kraftmessgeräte
  - Drehmomentmessgeräte
  - Messverstärker

- Kalibrierung in Prüflaboratorien vor Ort
  - Zug- und Druckprüfmaschinen
  - Längenänderungs-Messeinrichtungen
  - **Härteprüfmaschinen**
  - Pendelschlagwerke
  - komplexe Prüfstände



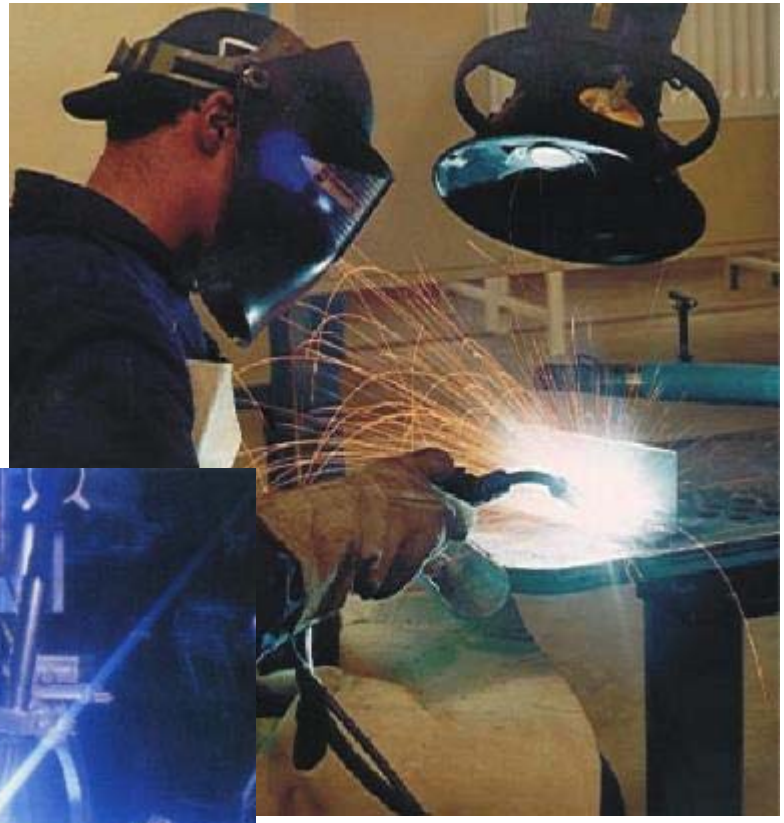
Bildquelle: ME-Systems

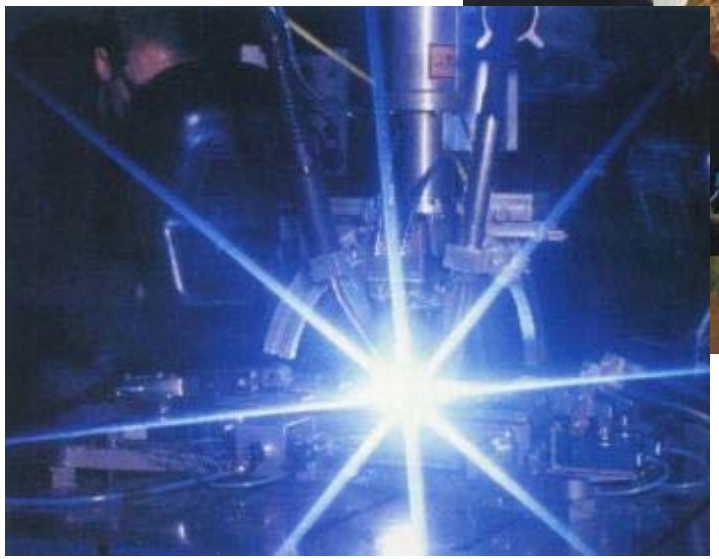
- Regionaler und überregionaler Kundenkreis
  - ~ 15 % MPA-IfW
  - ~ 15 % TU und andere staatl. Stellen
  - ~ 70 % Industrie sowie KMU

Gliederung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Einleitung
- Warum sind Härtemessungen an Schweißverbindungen so wichtig?
- Welche Normen sind relevant?
- Anwendungsbeispiel
- Zusammenfassung





Einordnung der Härteprüfung an Schweißverbindungen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Zerstörende Prüfung zur Bestimmung der Gebrauchseigenschaften von Werkstoffen

Mechanische Eigenschaften

- Zugfestigkeit,
- Streck-/Dehngrenze,
- Bruchdehnung,
- Zeitstandfestigkeit,
- ...

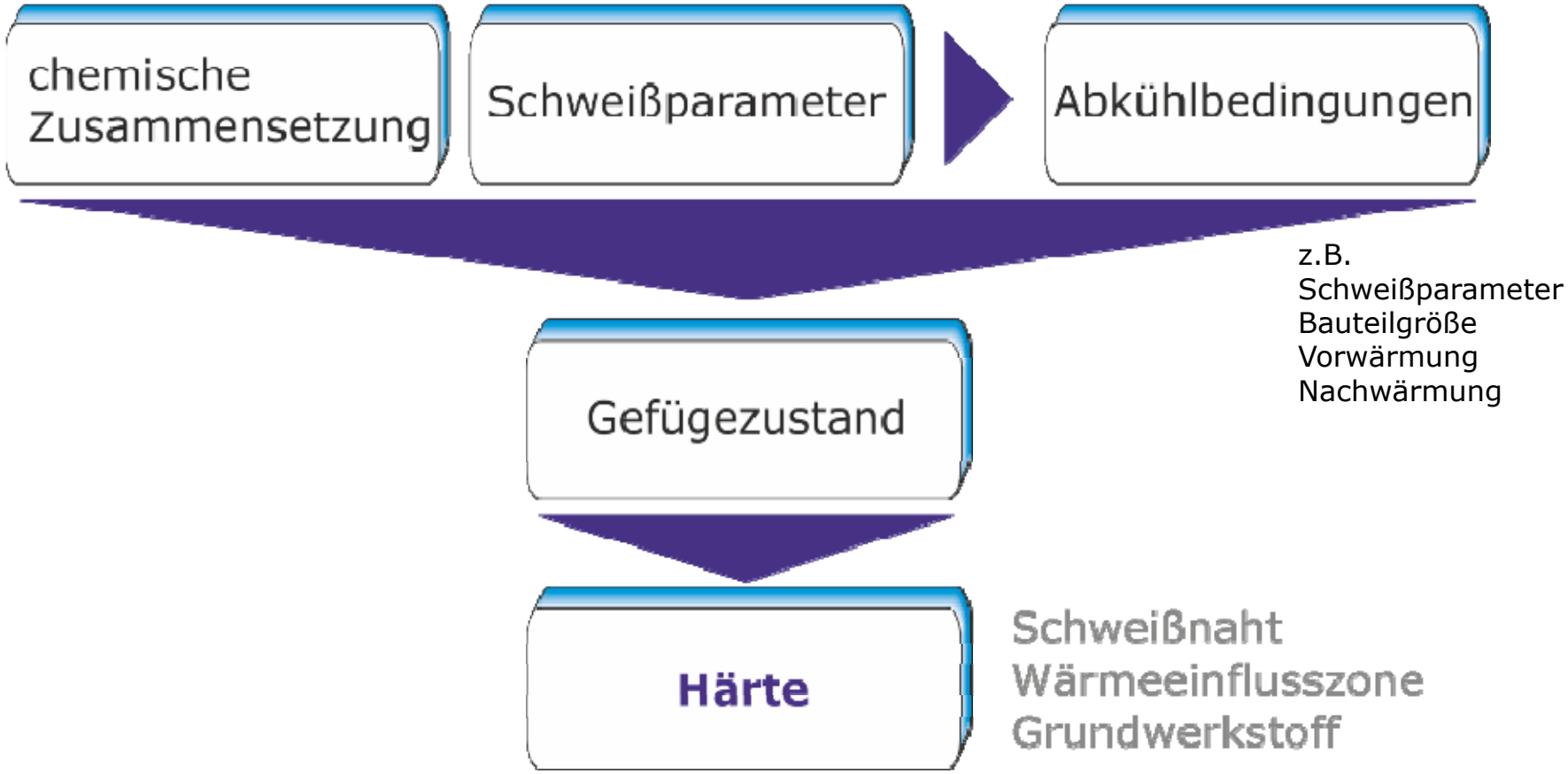
Technologische Eigenschaften

- Härte,
- Verformbarkeit,
- Schweißeignung,
- Zähigkeit,
- ...

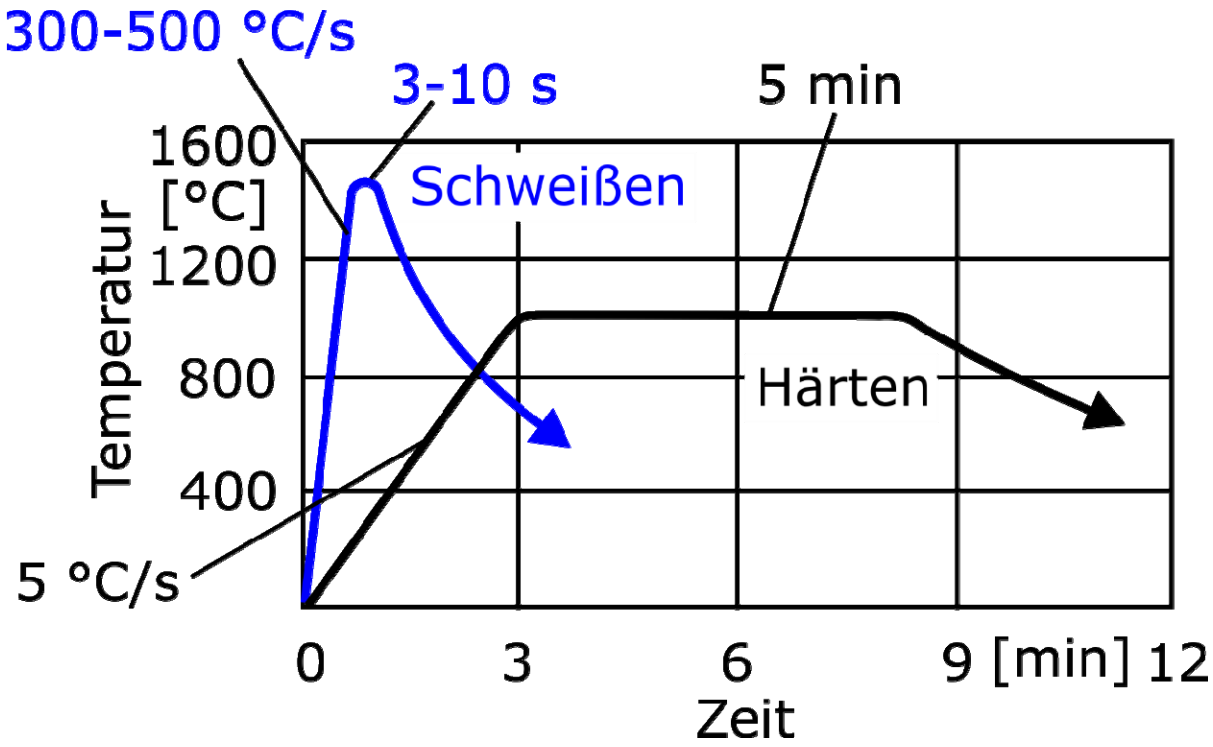
Qualifizierung von Schweißverfahren
DIN EN ISO 15614

Härteprüfung an Schweißverbindungen
DIN EN ISO 9015-1

Einflussgrößen auf die Härte in der Schweißzone



Wärmezyklus Härten - Schweißen

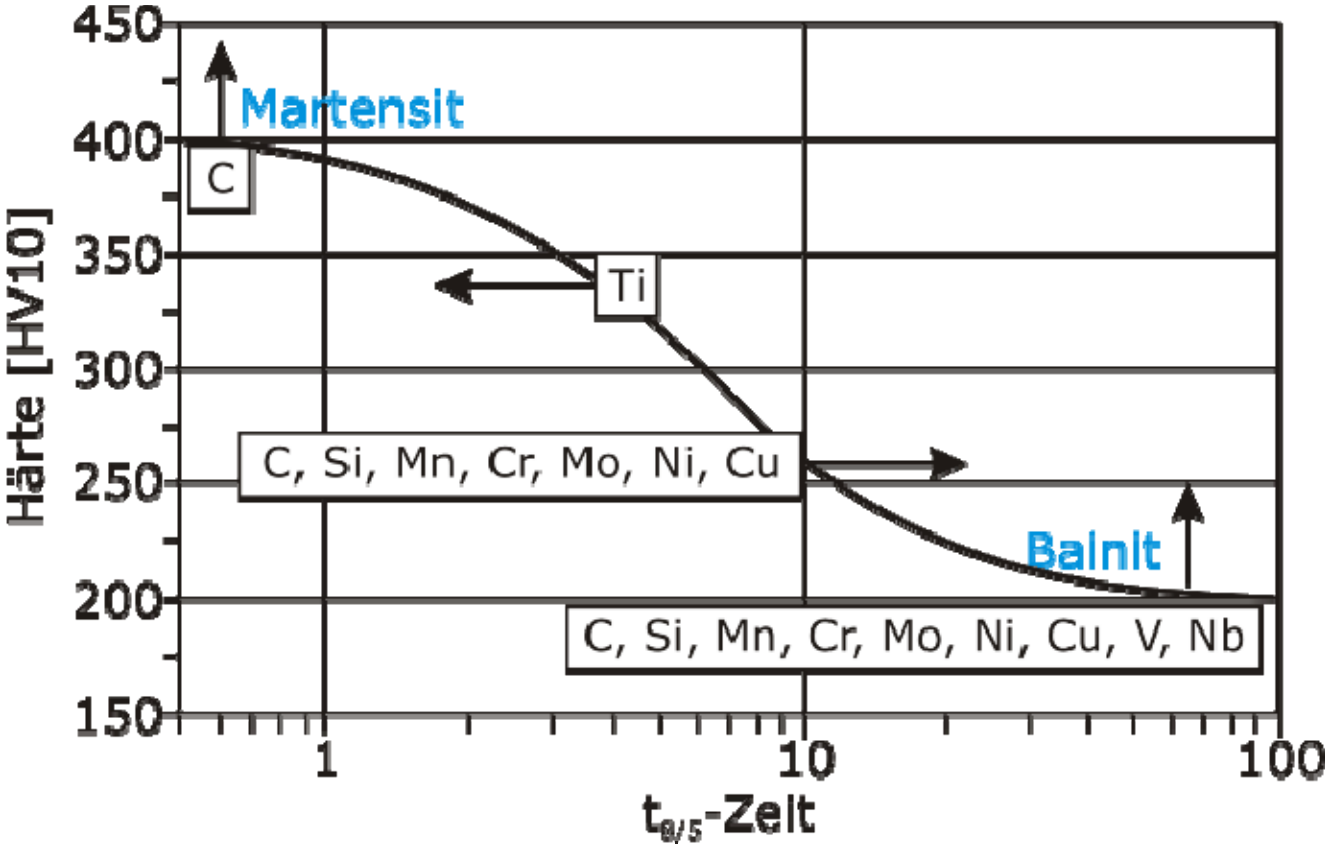


- Gefüge-Umwandlungsvorgänge werden in **Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen** (ZTU) dargestellt,
- beim Schweißen Abkühlung durch **Wärmeleitung**,
- beim Härten Abkühlung durch **Konvektion**.

Einfluss der chemischen Zusammensetzung/ Abkühlgeschwindigkeit auf die Härte (WEZ)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Quelle: Dillinger Hütte



Zeit zur Abkühlung von 800 °C auf 500 °C

Einfluss der chemischen Zusammensetzung/ Abkühlgeschwindigkeit auf die Härte (WEZ)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

<u>Kohlenstoffgehalt:</u> unter 0,22 %

<u>Kohlenstoffäquivalent:</u> max. 0,35 bis 0,49 in Abhängigkeit der Stahlsorte und Werkstoffdicke, sonst **Aufhärtungs- und Rissgefahr**

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

(basiert auf Härtemessungen, IIW)

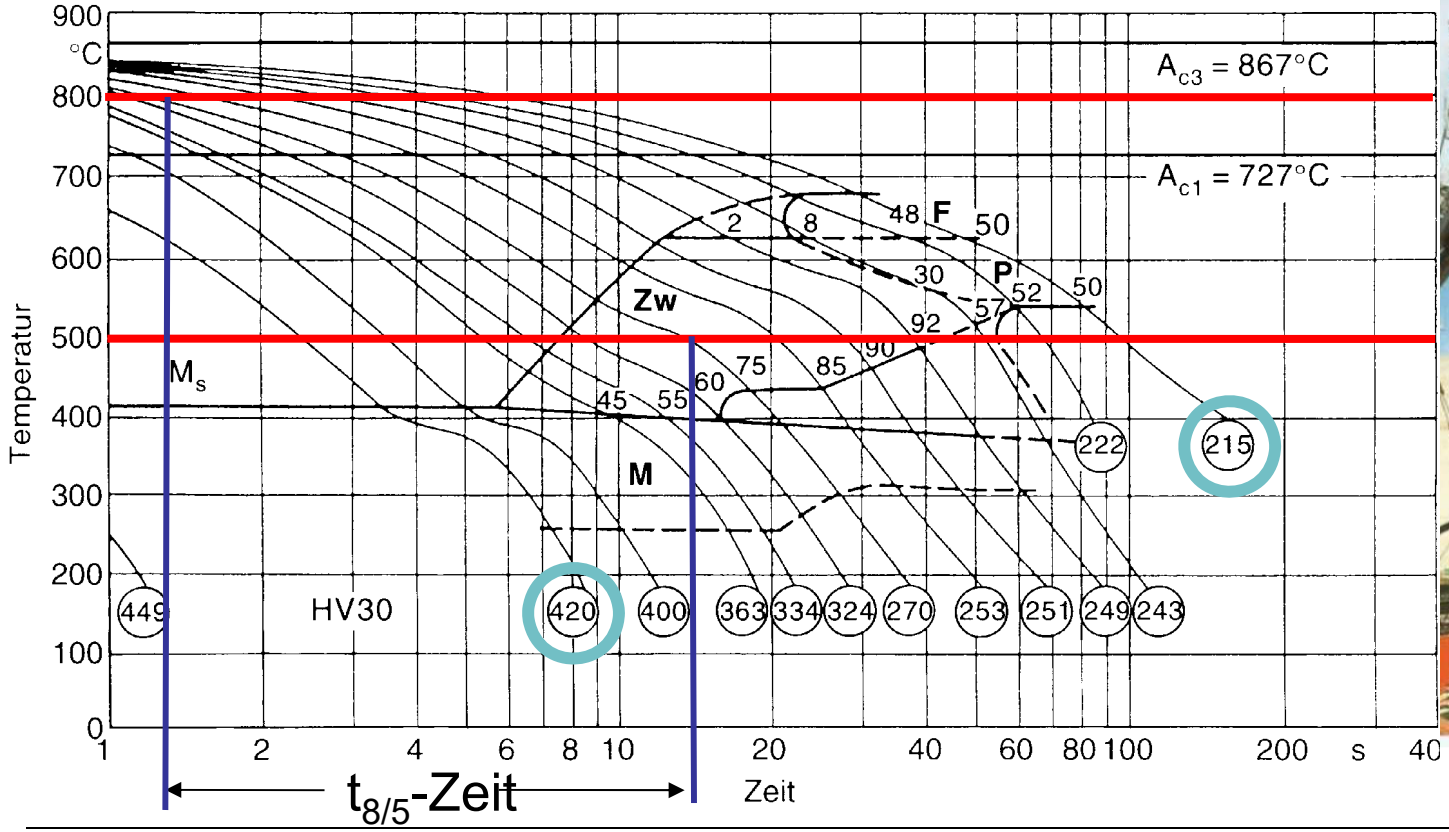
Kohlenstoffäquivalent CEV	Vorwärmtemperatur [°C]
< 0,38	< 100
0,38 - 0,44	100 - 250
> 0,44	250 - 350 (oder höher)

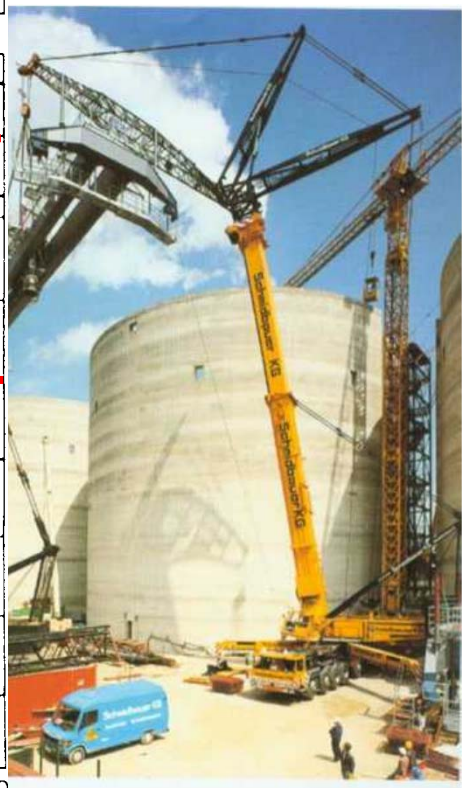
Kontinuierliches Schweiß-ZTU-Schaubild für den Baustahl S 355 - Härte

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

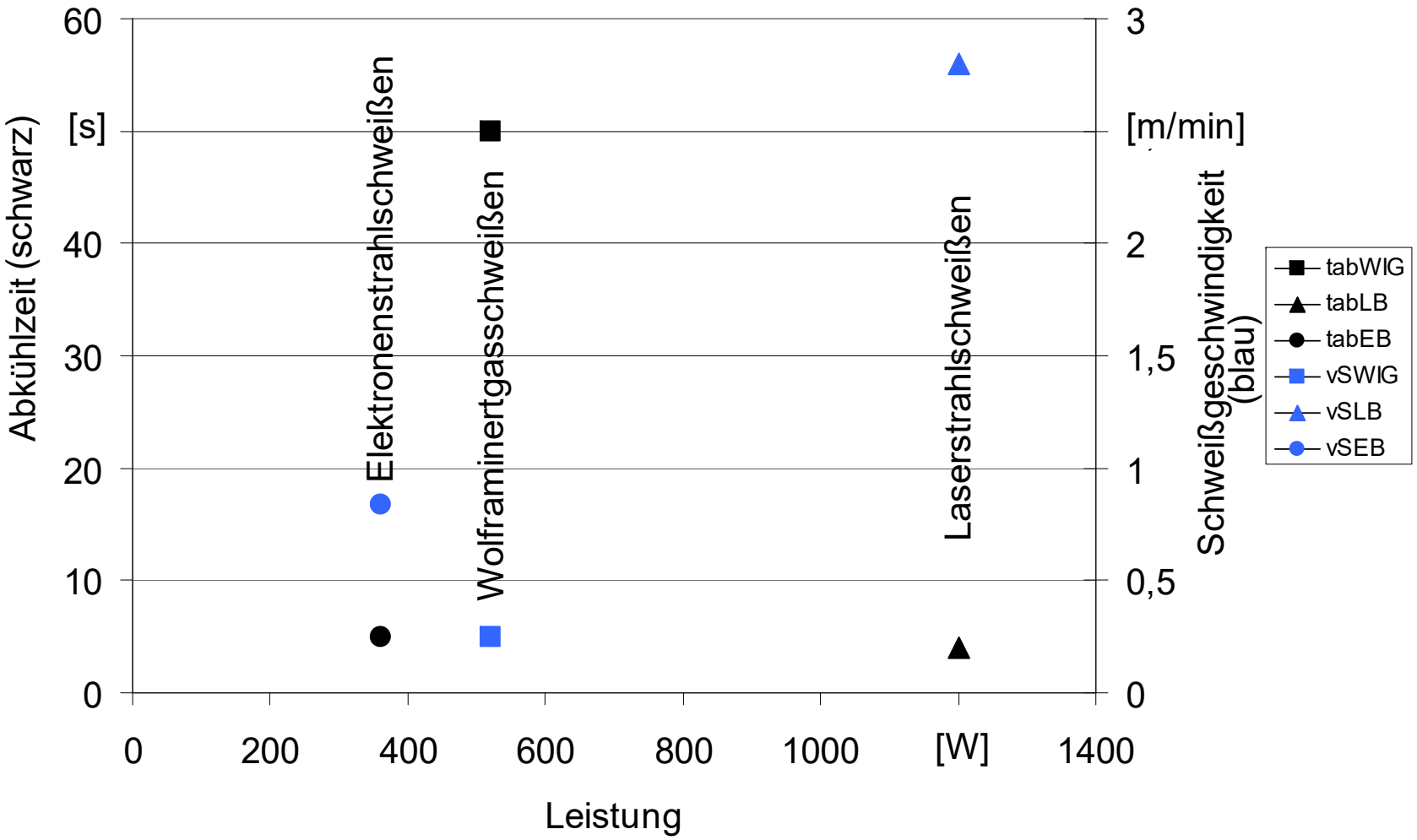
S 355	Spitzentemperatur 1350°C	Schweißwärmezyklus

Chemische Zusammensetzung %	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Cu	Ni		
	0,18	0,47	1,24	0,029	0,029	0,024	0,0085	0,10	0,17	0,06		





Abkühlzeit und Schweißgeschwindigkeit



Quelle: J.P. Bergmann

Stumpfstoßschweißung an Blechen
Wärmeeinbringung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Quelle: ISF Aachen

Vakuum

Schutzgas

Elektronen-strahlschweißen

Laserstrahl-schweißen

Laser-Hybrid-Schweißen

Plasma-schweißen

MIG-Schweißen

Zusatzwerkstoff

Zusatzwerkstoff

Wärmeeinbringen / Streckenenergie

Laserstrahl-Schweißnaht

Laser-Hybrid-Schweißnaht

Plasma-Schweißnaht

Grenzwerte für die Härte?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- schweißtechnische Normen
- anwendungsbezogene Regelwerke
- Lastenhefte/Spezifikationen
- Vereinbarungen mit dem Kunden

Nachweise z.B.

innerhalb der Schweißverfahrensprüfung oder

anhand von Arbeitsproben

Druckbehälter: AD-Merkblätter: Härte WEZ ≤ 350 HV10

Normen: DIN EN ISO **15614**-1:2012-06 und DIN EN ISO **15614**-11:2002

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Anforderung und **Qualifizierung von Schweißverfahren** für metallische Werkstoffe – Schweißverfahrensprüfung –

- Teil 1: **Lichtbogen- und Gasschweißen** von Stählen und Lichtbogenschweißen von Nickel und Nickellegierungen
  „Die Härteprüfung muss nach **Vickers** mit einer Prüfkraft von **HV10** nach **DIN EN ISO 9015** ausgeführt werden."

- Teil 11: **Elektronen- und Laserstrahlschweißen**
  „Die **Vickers-Mikrohärte**prüfung muss nach **DIN EN ISO 9015** ausgeführt werden."

DIN EN ISO 15614-1:2012-06
Härteprüfung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Härteprüfung (jeweils min. 3 Eindrücke je Bereich):

- Grundwerkstoff,
- Wärmeeinflusszone (WEZ),
- Schweißgut,

- d≤5 mm: 1 Härtereihe bis zu 2 mm vom Rand der Decklage,
- d>5 mm: 2 Härtereihen bis zu 2 mm vom Rand der Decklage und vom Rand der Wurzellage
- in der **WEZ** muss der erste Eindruck so nah wie möglich an der Schmelzlinie gesetzt werden.

DIN EN ISO 15614-1:2012-06
Stahlgruppen, **Grenzwerte**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Stahlgruppen nach CR ISO 15608	ohne Wärme-behandlung [HV10]	mit Wärme-behandlung [HV10]
1[a], 2 (Stähle mit R_{eH}<460 MPa und thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle und Stahlguss mit R_{eH}>360 MPa)	380	320
3[b] (vergütete oder ausscheidungsgehärtete Stähle mit R_{eH}>360 MPa)	450	380
4, 5 (niedrig V-legierte Cr-Mo-(Ni)Stähle, Mo ≤ 0,7% und V ≤ 0,1%, V-freie Cr-Mo-Stähle mit C ≤ 0,35%)	380	320
6 (hochvanadiumlegierte Cr-Mo-Stähle)	-	350
9.1 (Ni-legierte Stähle mit Ni ≤ 3%) 9.2 (Ni-legierte Stähle mit 3% < Ni ≤ 8%) 9.3 (Ni-legierte Stähle mit 8% < Ni ≤ 10%)	350 450 450	300 350 350

[a] falls Härteprüfungen gefordert werden, [b] für Stähle mit $R_{eH,\ min.}$ > 890 MPa sind Sondervereinbarungen erforderlich.

DIN EN ISO **9015-1**:2011-05

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen – **Härteprüfung**

Teil 1: Härteprüfung für **Lichtbogen**schweißverbindungen

DIN EN ISO 9015-1:2011-05
(Ersatz für DIN EN 1043-1:1996-02)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Anwendungsbereich:

- Härteprüfungen nach Vickers nach ISO 6507-1 oder nach Brinell nach ISO 6506-1,
- Querschliffe von Lichtbogenschweißungen,
- Prüfkräfte von 49,03 N bis 98,07 N (HV5 oder HV10),
- Grundwerkstoff, Wärmeeinflusszone und Schweißgut,

- <u>nicht</u> für austenitische Werkstoffe.

DIN EN ISO 9015-1:2011-05
(Ersatz für DIN EN 1043-1:1996-02)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

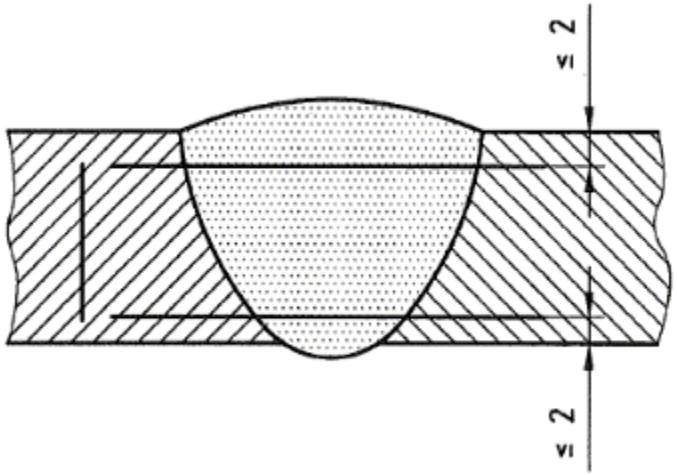
Prinzip:

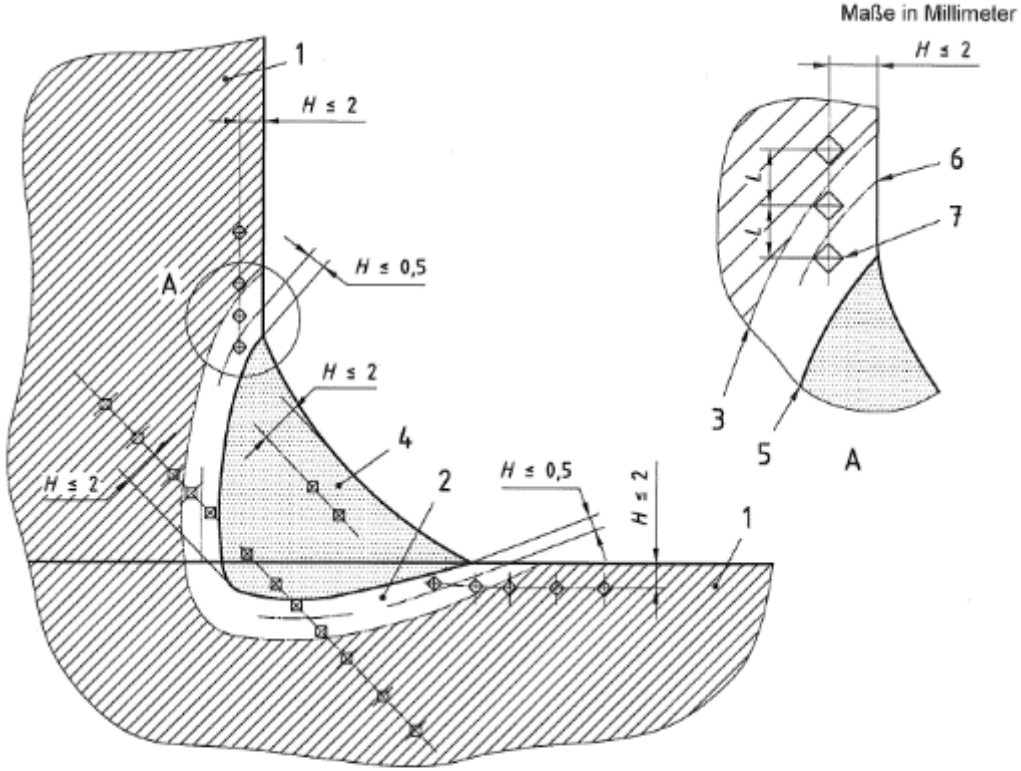
- Raumtemperatur (23 °C ±5 °C),
- Härtereihen oder Einzeleindrücke,
- Anwendungsnormen oder Vereinbarungen,
- Abstand der Messpunkte: 0,7 mm bei HV5; 1 mm bei HV10 für Eisenmetalle (bei Al- oder Cu-Legierungen bis zu 5 mm).

(Der Abstand zwischen der Mitte des Eindrucks und dem Probenrand muss zwischen dem 2,5-fachen (Stahl, Kupfer) und 3-fachen (Al, Pb, Zn) des Eindruckdurchmessers liegen.)

DIN EN ISO 9015-1:2011-05
Beispiel: **Stumpfnaht, Kehlnaht**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT





Legende

1 Grundwerkstoff
2 Wärmeeinflusszone
3 Grenze der WEZ
4 Schweißgut
5 Schmelzlinie
6 Grenze der Eindrücke parallel zur Schmelzlinie
7 erster Eindruck

DIN EN ISO 9015-2:2016-10
Mikrohärteprüfung an Schweißverbindungen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Vickershärte Kurzzeichen	Empfohlener Abstand zwischen den Eindrücken in der WEZ [mm][a]	
	Eisenwerkstoffe[b]	Aluminium, Kupfer und ihre Legierungen
HV 0,1	0,2	0,6 bis 2
HV 1	0,5	1,5 bis 4
HV 5	0,7	2,5 bis 5

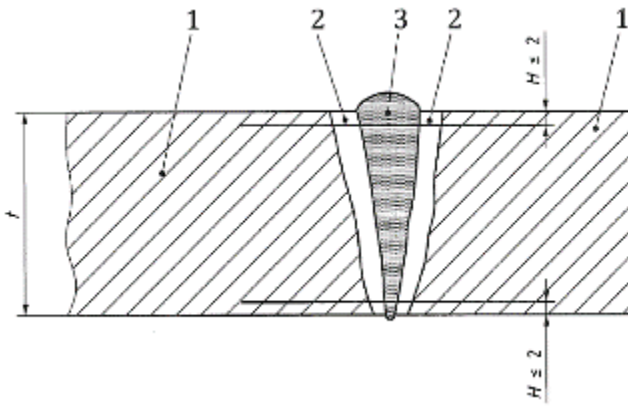
[a] Der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Eindrücke darf nicht kleiner sein als der Mindestwert, der nach ISO 6507-1 erlaubt ist.

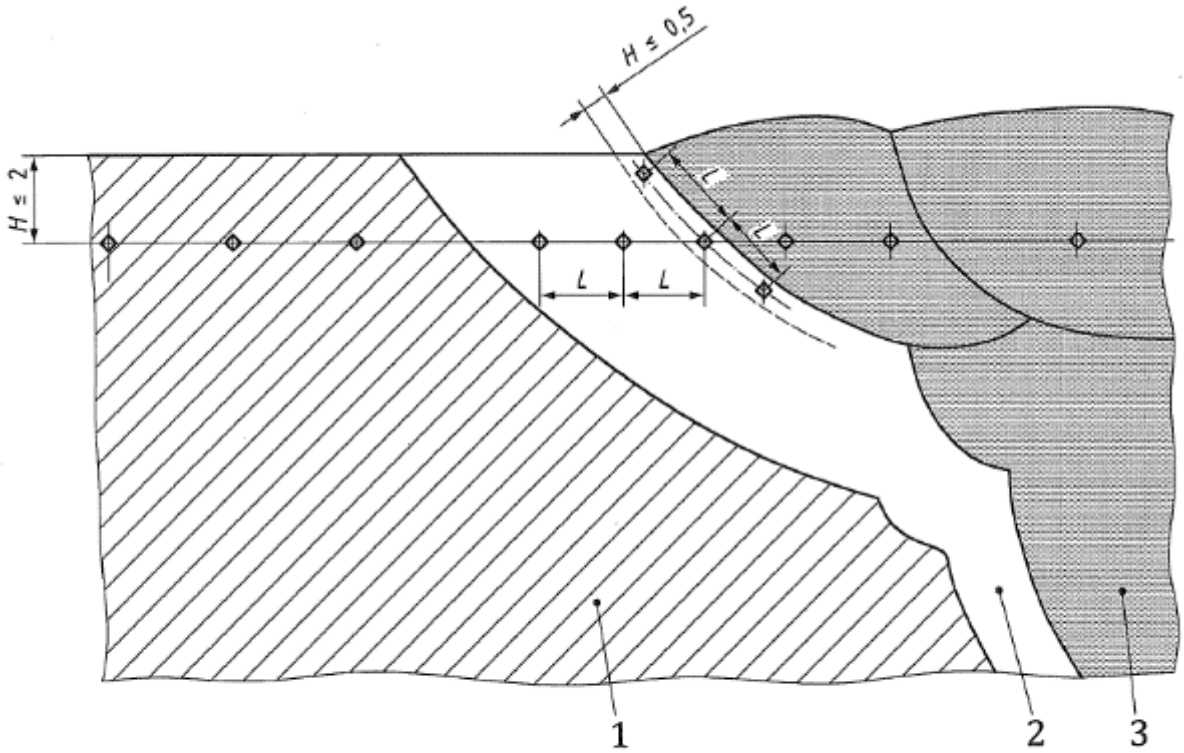
[b] Außer austenitische Stähle

DIN EN ISO 9015-2:2016-10
Mikrohärtemessungen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Dimensions in millimetres





Key

1 parent material
2 heat affected zone
3 weld metal

Zusammenfassung Normen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

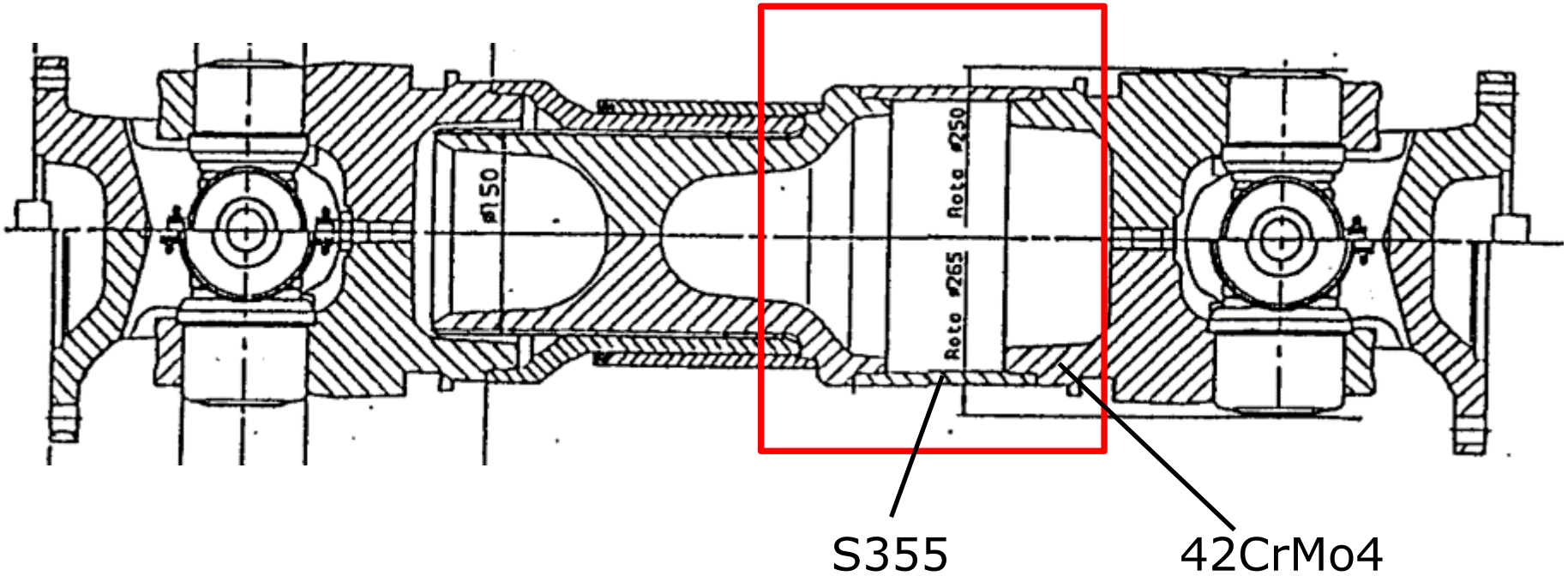
DIN EN ISO 15614:

- Festlegung bei welchen Schweißverfahren welche Normen anzuwenden sind (HV5, HV10 oder Mikrohärte)
- erste Angaben, wo mit welchen Abständen gemessen werden soll.

DIN EN ISO 9015:

- legt detailliert die Abstände der Härteeindrücke fest und
- gibt Beispiele für verschiedene Nahtarten.

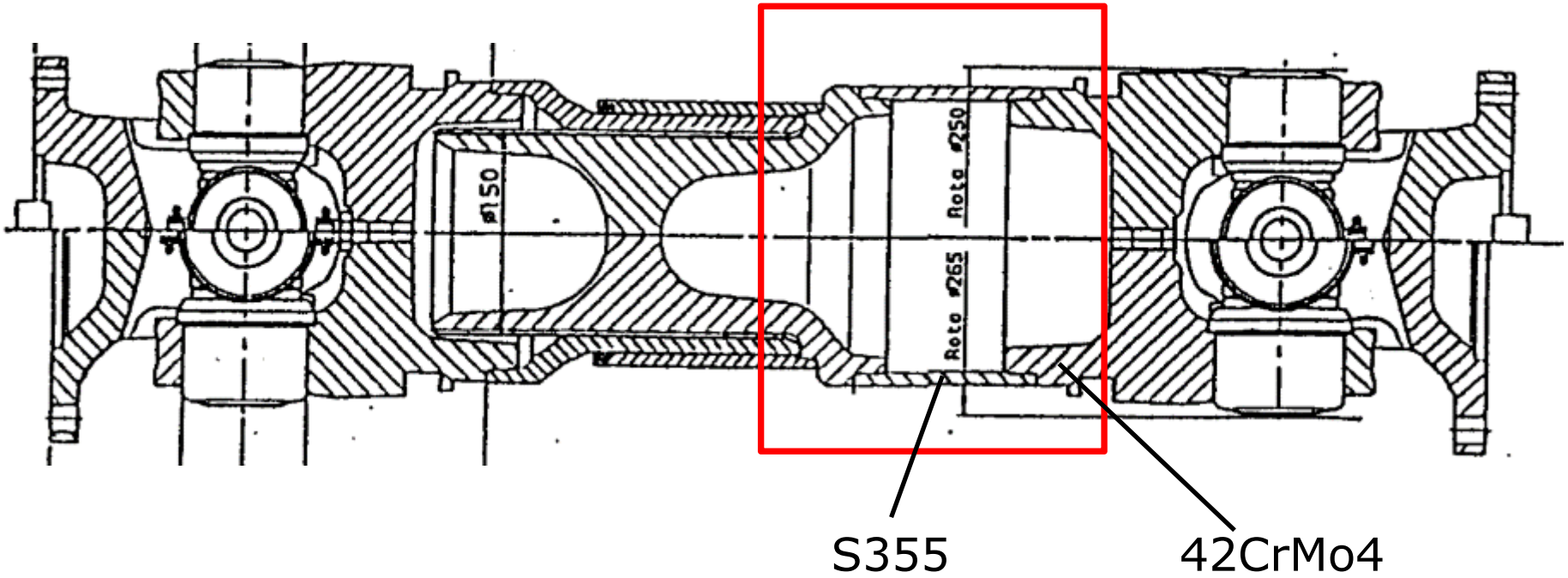
Beispiel Gelenkwelle - Presse
Rohrschweißung, S355 – 42CrMo4



Wie aufwendig muss die Vorbereitung sein und welches Schweißverfahren ist das „Beste“?

- Metallaktivgasschweißen (MAG)
- Laserstrahlschweißen (LB)

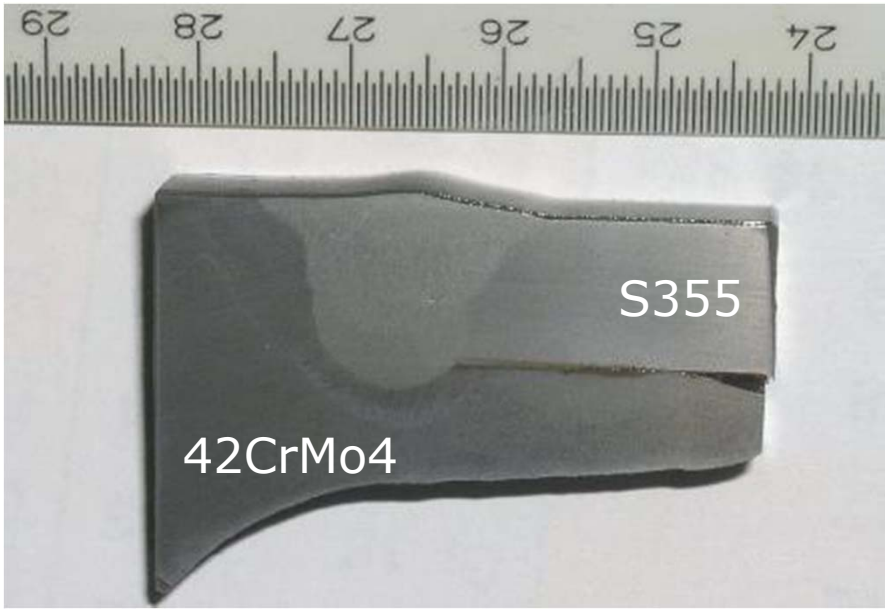
Beispiel Gelenkwelle - Presse
Rohrschweißung, S355 – 42CrMo4



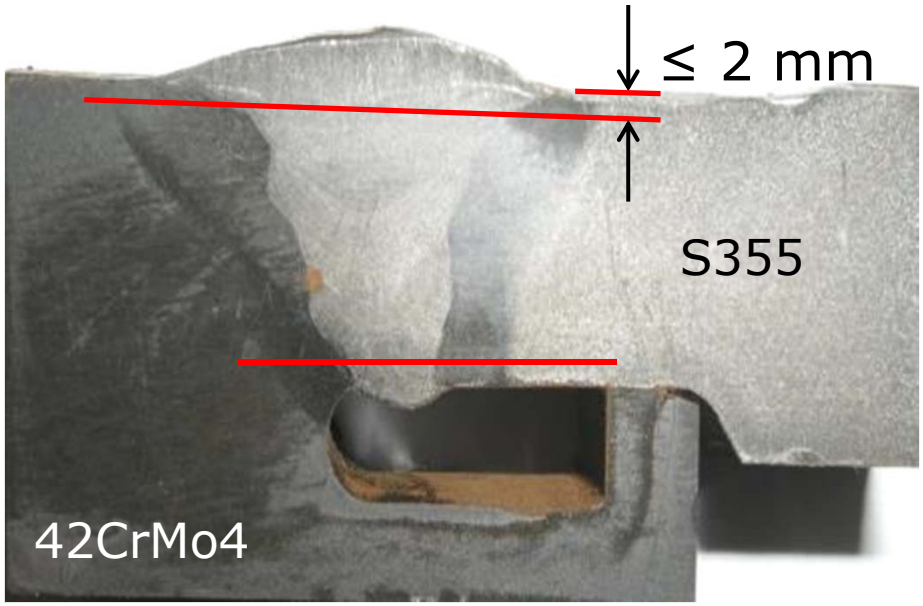
Beanspruchung:
- Umlaufbiegung
- Torsion

Werkstoffe:
- S355, unproblematisch
- 42CrMo4, hoher Kohlenstoffgehalt, **Rissgefahr?**

Beispiel Gelenkwelle
MAG-Rohrschweißung, S355 – 42CrMo4

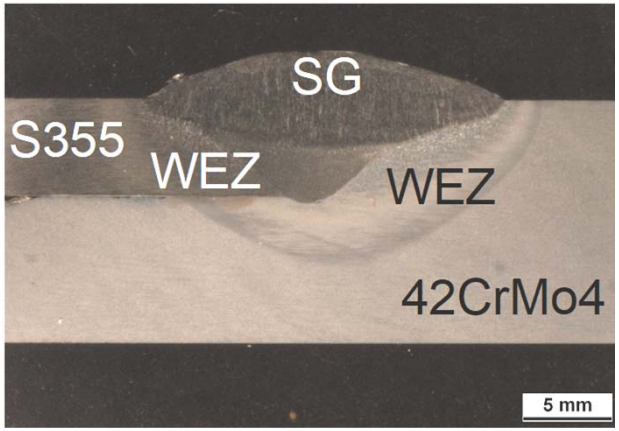


Konventioneller Stumpfstoß



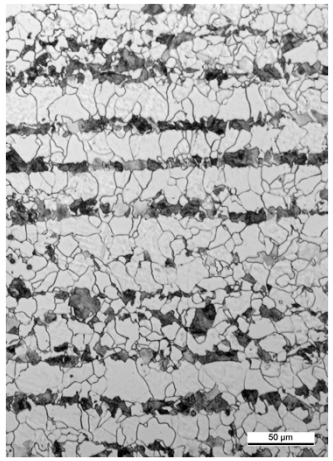
Modifizierter Stumpfstoß

Gelenkwelle
MAG-Schweißung

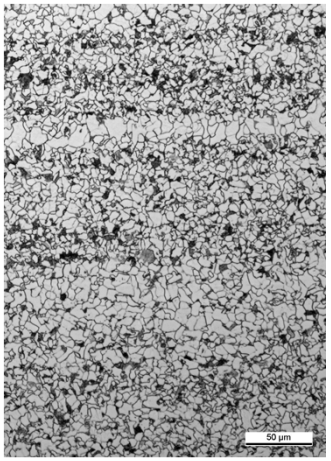


S355 | 42CrMo4

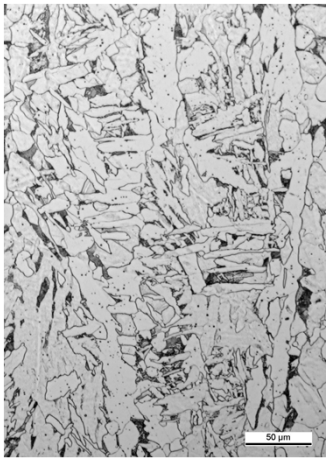
GW



WEZ

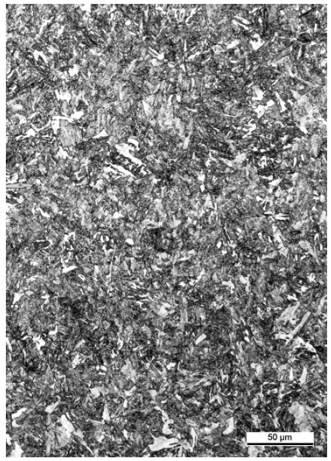


SG



WEZ

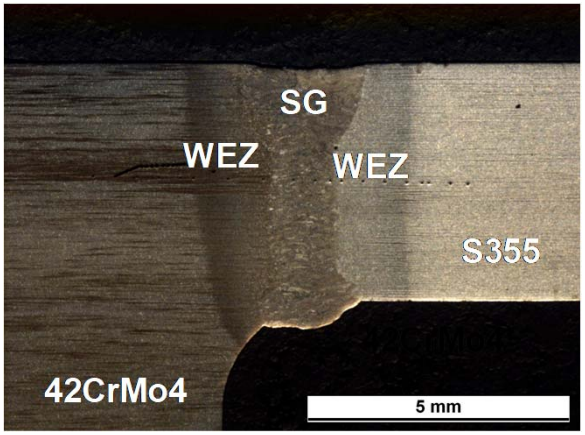
GW



Gelenkwelle
Laserstrahl-Schweißung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

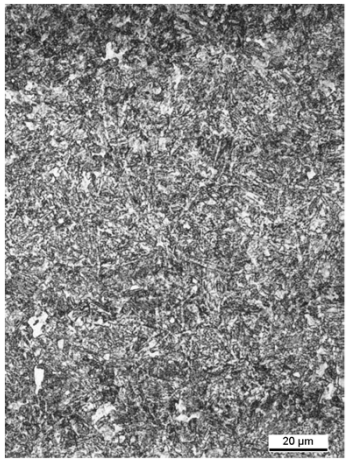
42CrMo4



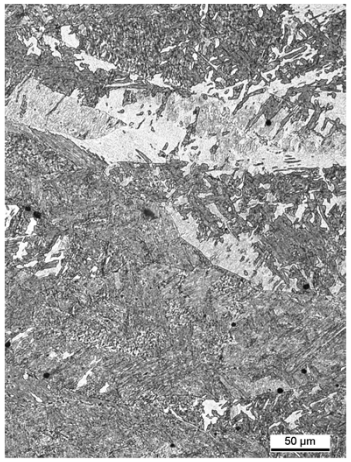
S355

GW

WEZ

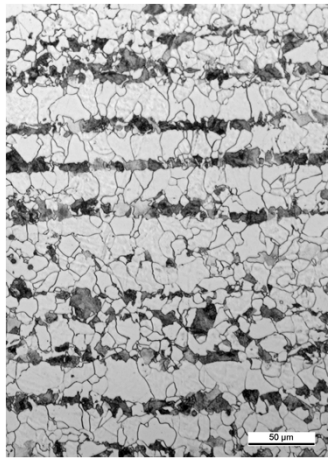


SG



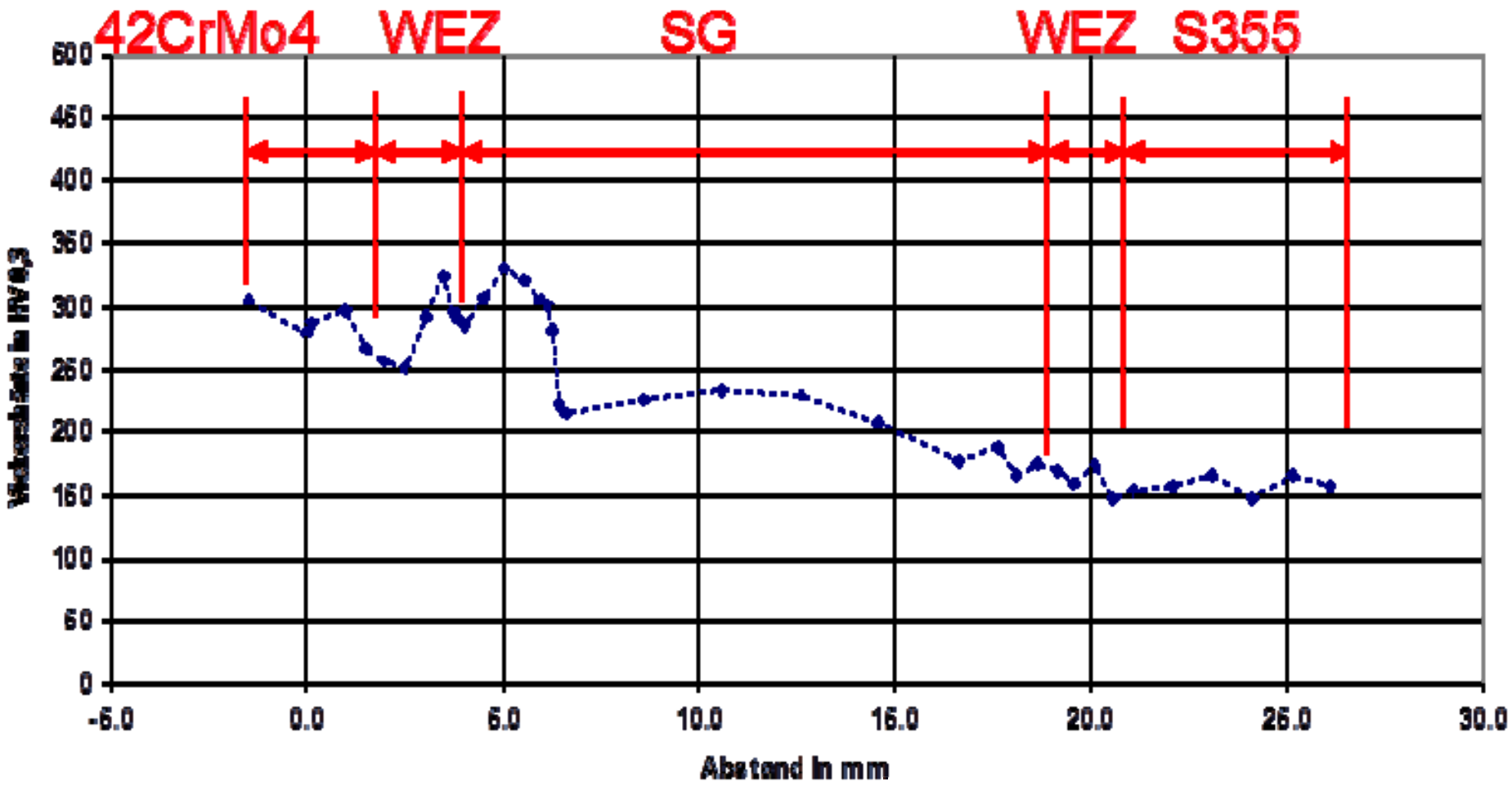
WEZ

GW



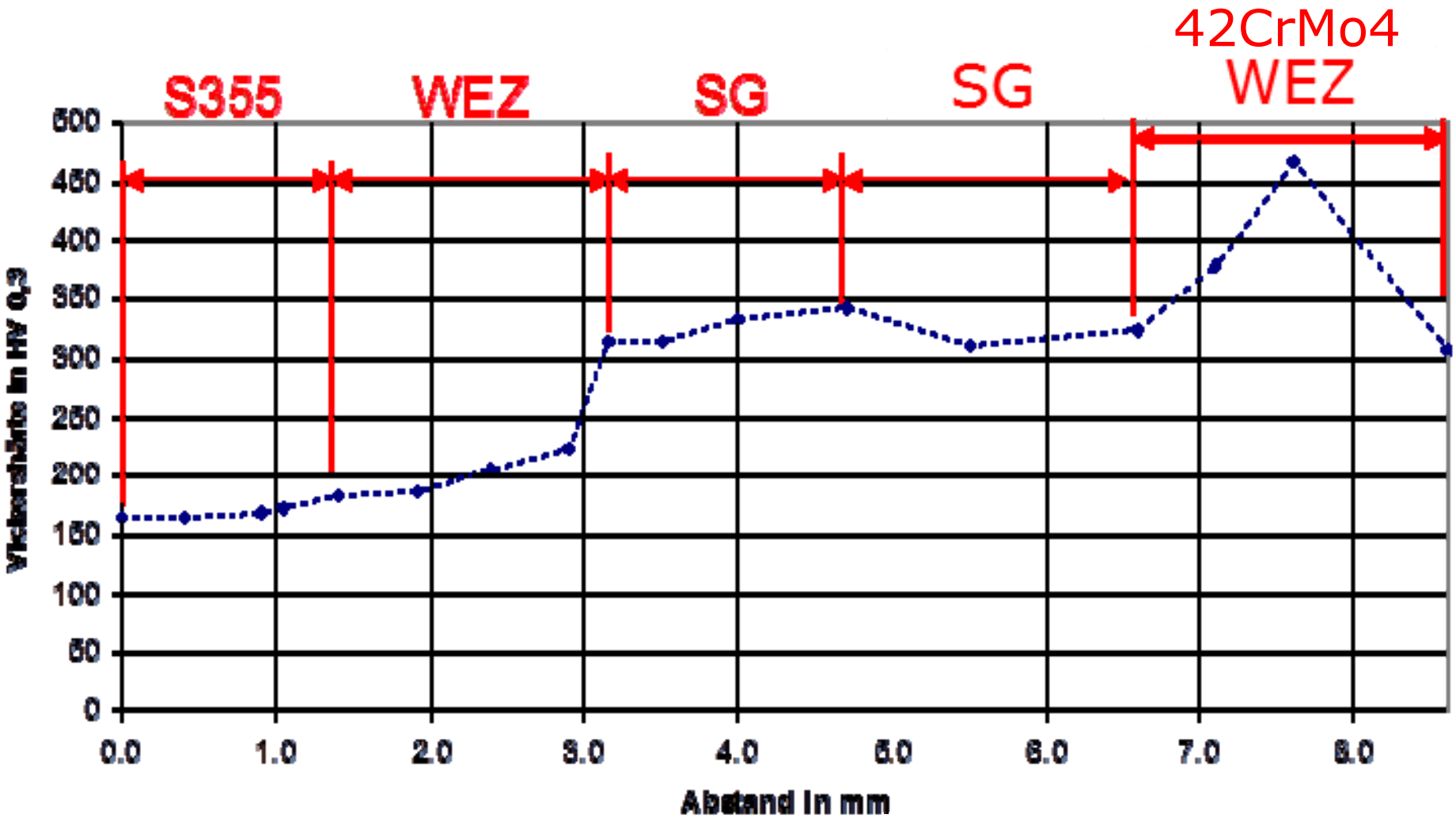
MAG-Schweißung

Härteverlauf nach Vickers HV0,3



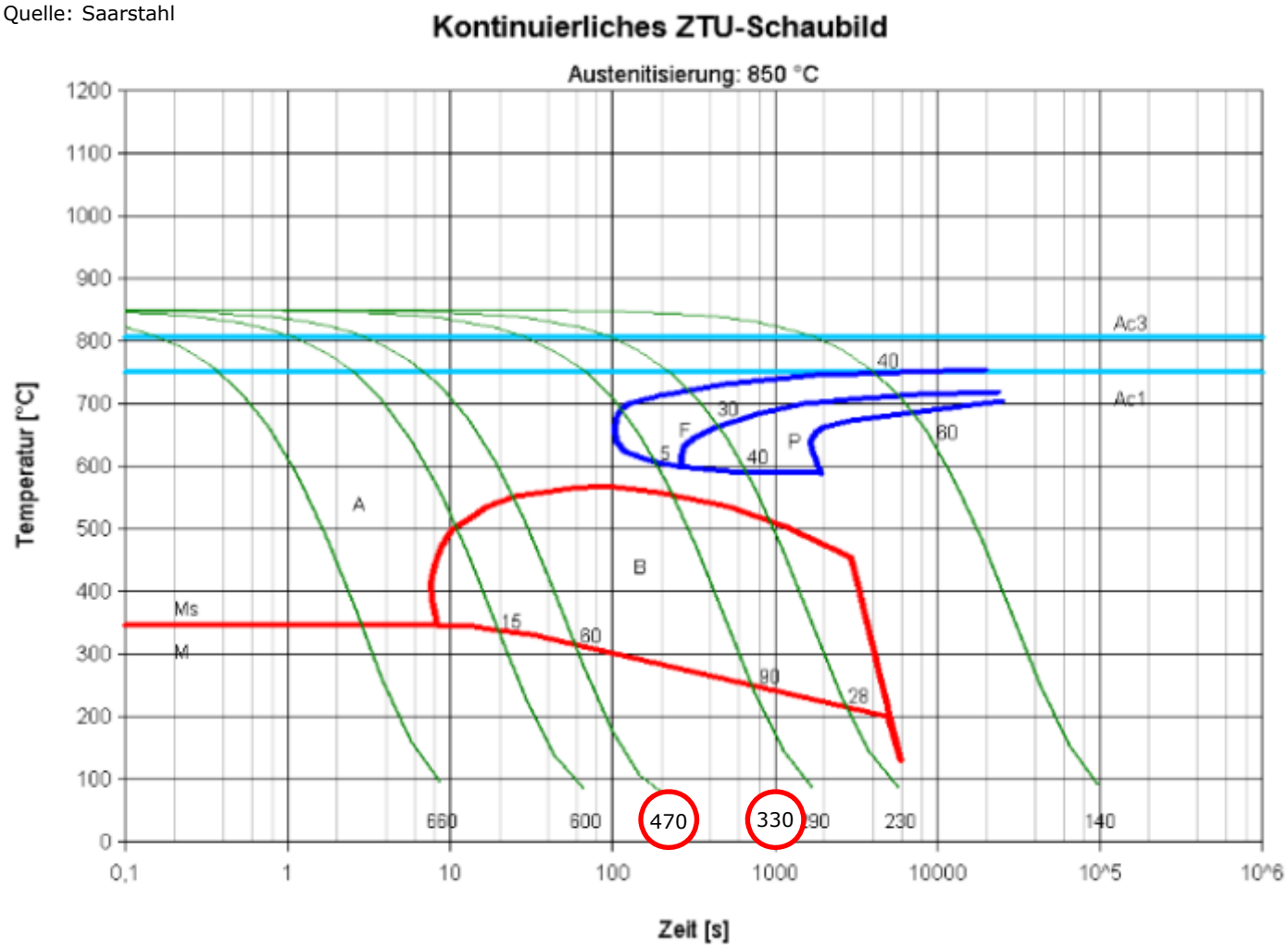
Laserstrahl-Schweißung

Härteverlauf nach Vickers HV0,3



ZTU-Schaubild
42CrMo4

Quelle: Saarstahl



MAG:
330 HV0,3:
80 % Bainit
20 % Martensit

Laserstrahl:
470 HV0,3:
60 % Bainit
40 % Martensit

Grenzwert lt. DIN EN ISO 15614-1:
450 HV10

Auswahl des Schweißverfahrens durch Konformitätsbewertung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

DIN EN ISO/IEC 17025

- Verwendung DAkkS-rückgeführter Prüfmaschinen
- Berücksichtigung der Messunsicherheit
- Risikoabschätzung

VMPA KALIBRIERT MPA DARMSTADT

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle
D-PL-11048-01-00
D-K-11048-01-00

Metallaktivgasschweißung (MAG) erfüllt die Spezifikation

Laserstrahlschweißung erfüllt die Spezifikation nicht

- relativ hohe Abkühlgeschwindigkeit führt zur Martensitbildung und Rissgefahr
- Vor-/Nachwärmung erforderlich
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung notwendig.

Zusammenfassung
Härteprüfungen an Schweißnähten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

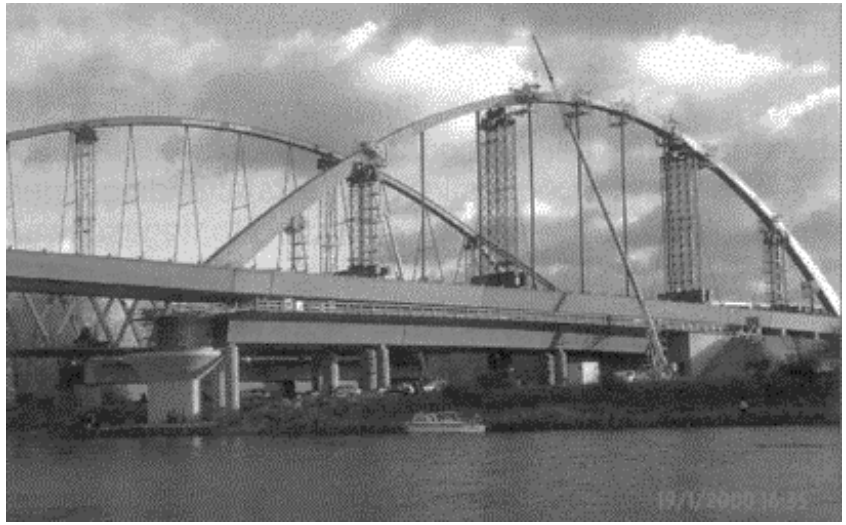
zur Überprüfung

- der Fertigungsqualität,
- der „richtigen" Schweißparameter,
- des Gefügezustandes und
- zur **Vermeidung von Rissbildung**.

Zusammenfassung
Härteprüfungen an Schweißnähten

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Einfluss verschiedener **Parameter** auf **Härte** (chemische Zusammensetzung, Gefügezustand, Abkühlgeschwindigkeit, Schweißverfahren),
- Härteprüfungen an Schweißnähten nach DIN EN ISO **15614**-1 bis 14 bzw. DIN EN ISO **9015**-1 bis 2.



Quelle: SLV Halle: Straßen- und Eisenbahnbrücke in Wittenberg

Mess- und Kalibriertechnik
Zentrum für Konstruktionswerkstoffe
Staatliche Materialprüfungsanstalt Darmstadt
Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde
Grafenstraße 2
64283 Darmstadt
Tel.: 06151/16-24340
E-Mail: ellermeier@mpa-ifw.tu-darmstadt.de

MPA Darmstadt IfW

Härteseminar am 9. November 2017 an der MPA Darmstadt

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Härteprüfverfahren und -maschinen
Grundlagen, Neuheiten
Funktionsweisen
mobile Härteprüfer
Bildanalyse

Normen bzw. -änderungen
DIN EN ISO
ASTM
Messunsicherheit
Kalibrierung

Praxisanwendungen
Periodische Prüfung
Mikrohärtemessungen
Fehlermöglichkeiten
Härte von Schichten

Mess- und Kalibriertechnik
Zentrum für Konstruktionswerkstoffe
Staatliche Materialprüfungsanstalt Darmstadt
Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde
Grafenstraße 2
64283 Darmstadt
Tel.: 06151/16-24340
E-Mail: ellermeier@mpa-ifw.tu-darmstadt.de

MPA Darmstadt IfW