

# testXpo

## Fachmesse für Prüftechnik



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

19. Oktober 2017 in Ulm



**Härteprüfungen zur  
Qualitätssicherung von  
Schweißverbindungen**

Dr.-Ing. Jörg Ellermeier, MPA-I fW, TU Darmstadt





# Zentrum für Konstruktionswerkstoffe MPA Darmstadt / IfW



**Lehre – Forschung – Industriekooperation**

Werkstoff-, Bauteil- und Produktentwicklung  
Werkstoff- und Produktqualifizierung  
Werkstoffanalytik  
Oberflächen- und Beschichtungstechnik  
Prüfverfahren  
Lebensdaueranalyse  
Schadensforschung  
Mess- und Kalibriertechnik  
Zertifizierung

**Kunststoffe & Verbunde**

**Baustoffe**

**Werkstoff-analytik**

**Mess- und Kalibrier-technik**

**Bauteil-festigkeit**

**Ober-flächen-technik**

**Hoch-temperatur-werkstoffe**

# 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







- Direkter Anschluss an nationale Normale

- Kraftmessgeräte
- Drehmomentmessgeräte
- Messverstärker



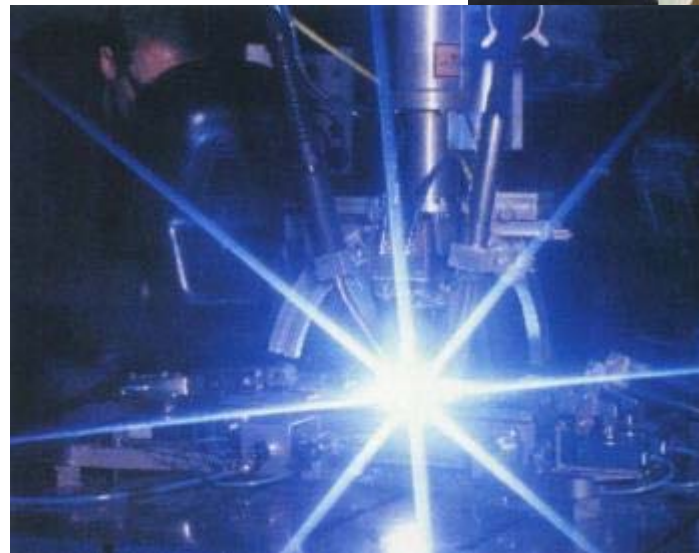
- Kalibrierung in Prüflaboratorien vor Ort
  - Zug- und Druckprüfmaschinen
  - Längenänderungs-Messeinrichtungen
  - **Härteprüfmaschinen**
  - Pendelschlagwerke
  - komplexe Prüfstände



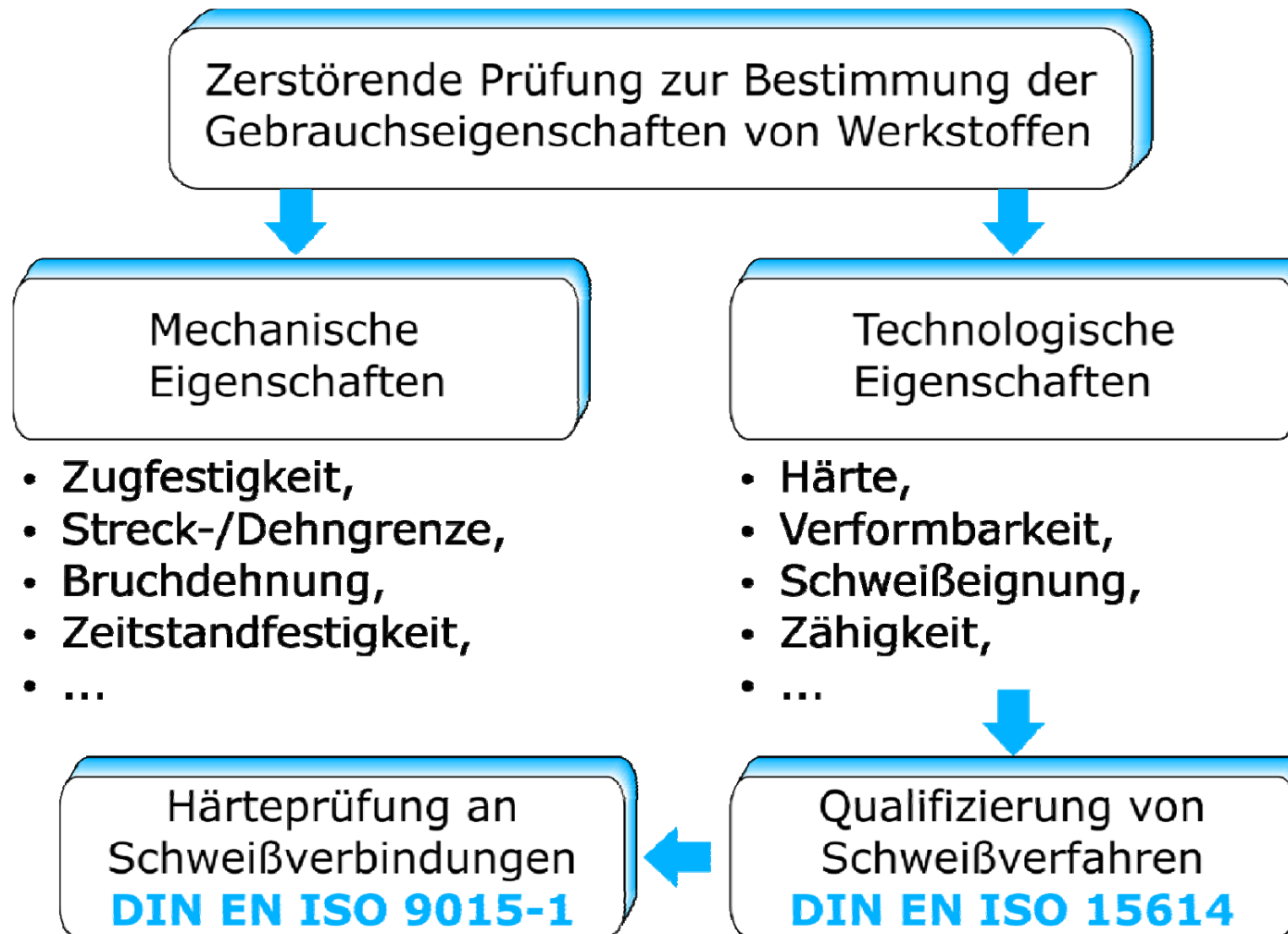
- Regionaler und überregionaler Kundenkreis
  - ~ 15 % MPA-IfW
  - ~ 15 % TU und andere staatl. Stellen
  - ~ 70 % Industrie sowie KMU

# Gliederung

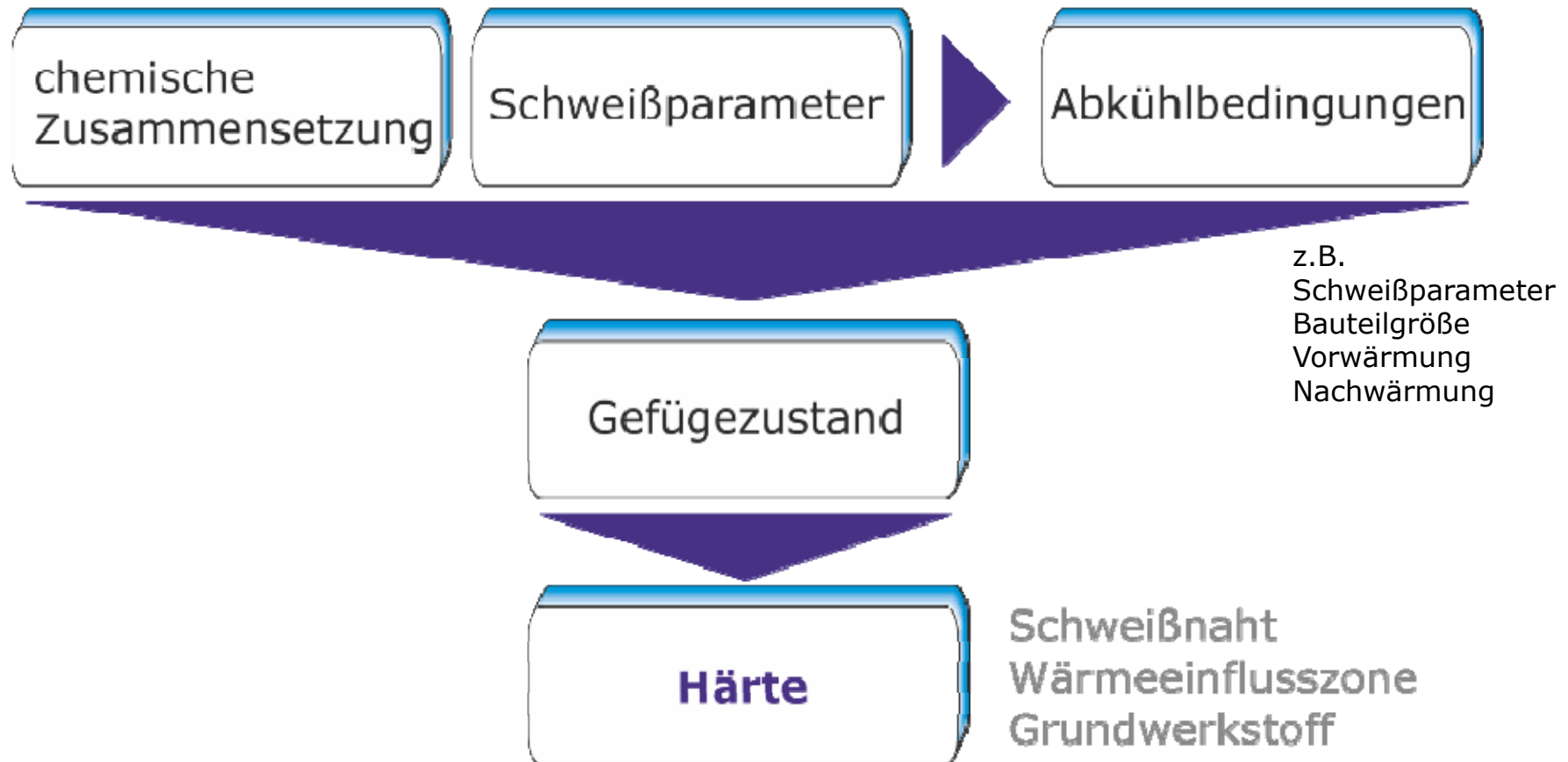
- Einleitung
- Warum sind Härtemessungen an Schweißverbindungen so wichtig?
- Welche Normen sind relevant?
- Anwendungsbeispiel
- Zusammenfassung



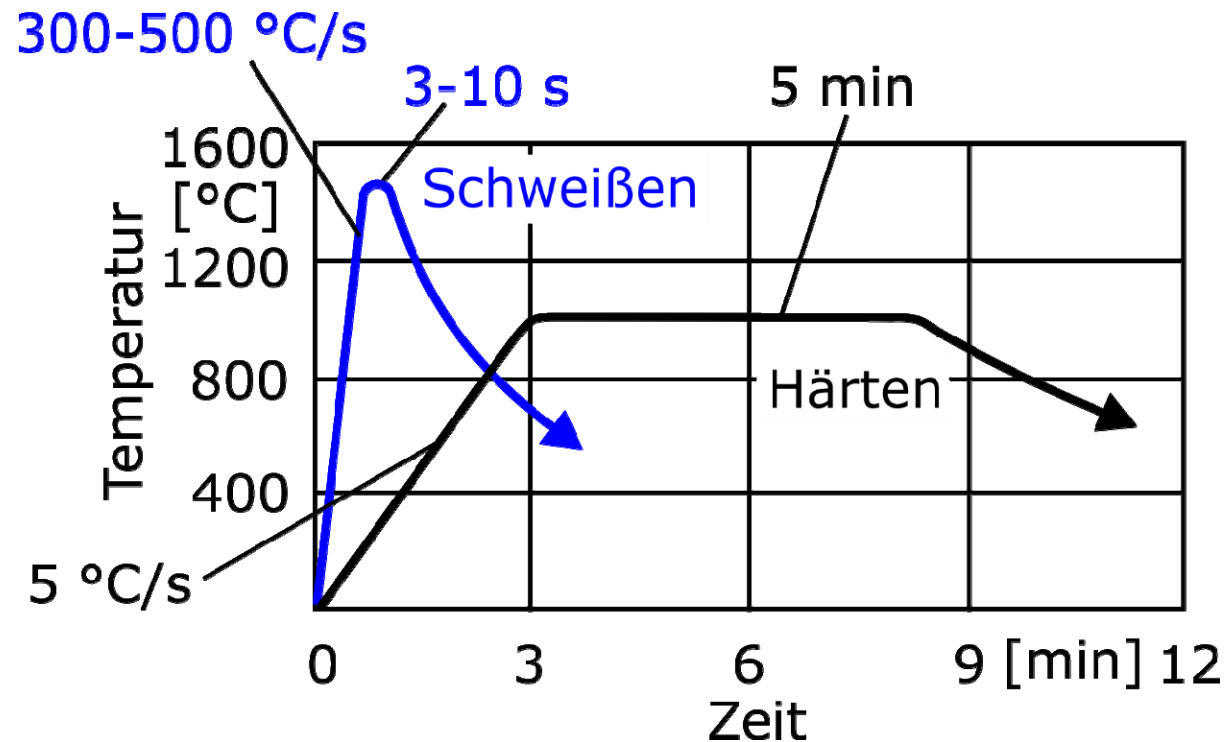
# Einordnung der Härteprüfung an Schweißverbindungen



# Einflussgrößen auf die Härte in der Schweißzone



# Wärmezyklus Härten - Schweißen

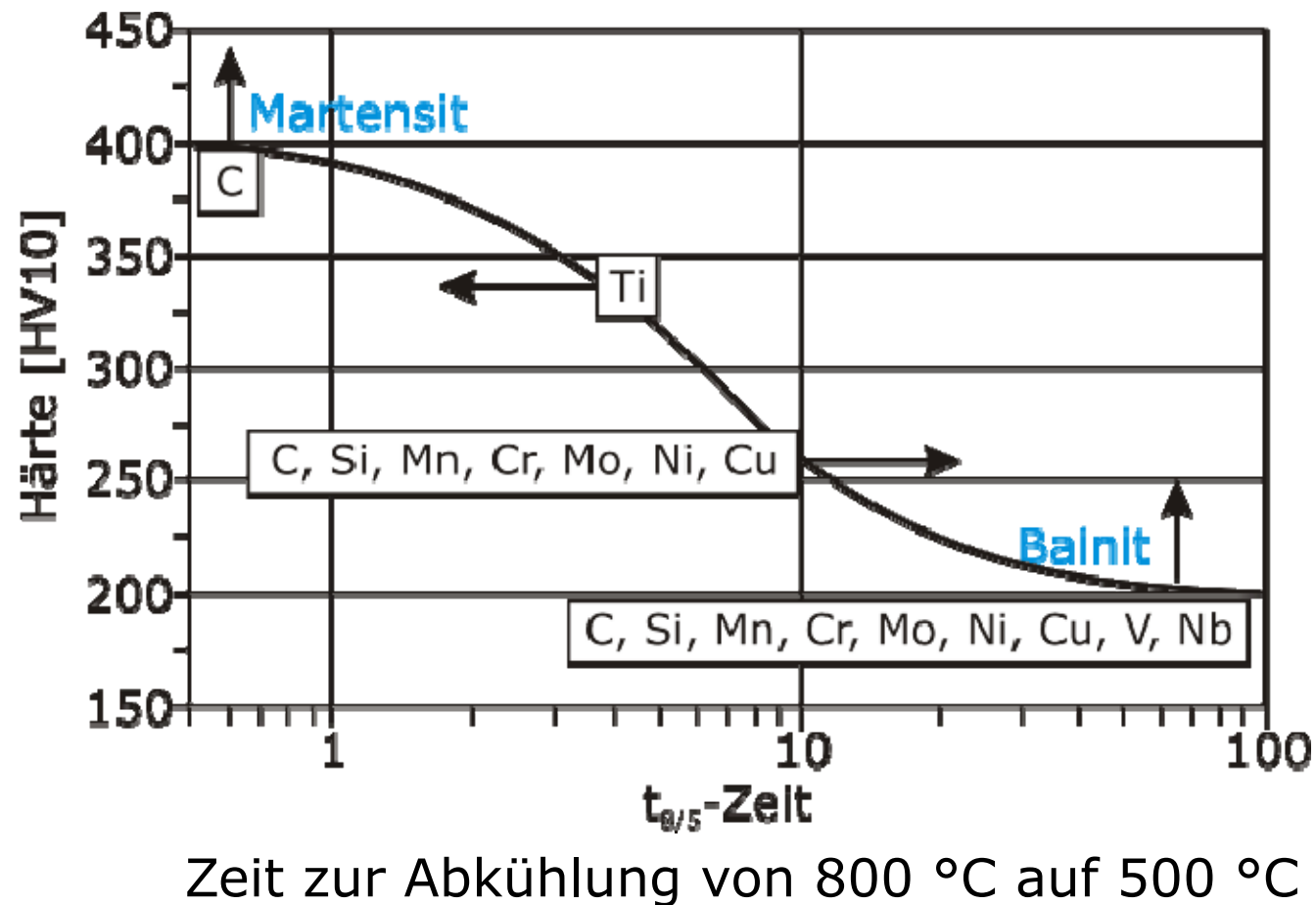


- Gefüge-Umwandlungsvorgänge werden in **Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen** (ZTU) dargestellt,
- beim Schweißen Abkühlung durch **Wärmeleitung**,
- beim Härten Abkühlung durch **Konvektion**.



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

Quelle: Dillinger Hütte



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



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Kohlenstoffgehalt:

unter 0,22 %

Kohlenstoffäquivalent:

max. 0,35 bis 0,49 in Abhängigkeit der  
Stahlsorte und Werkstoffdicke, sonst

**Aufhärtungs- und Rissgefahr**

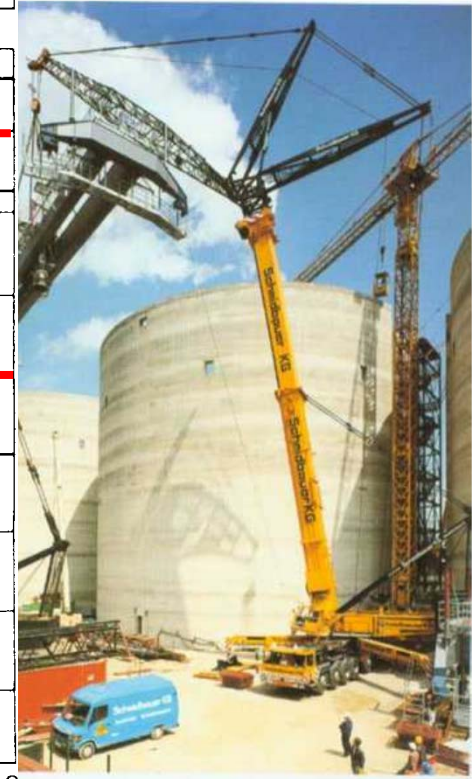
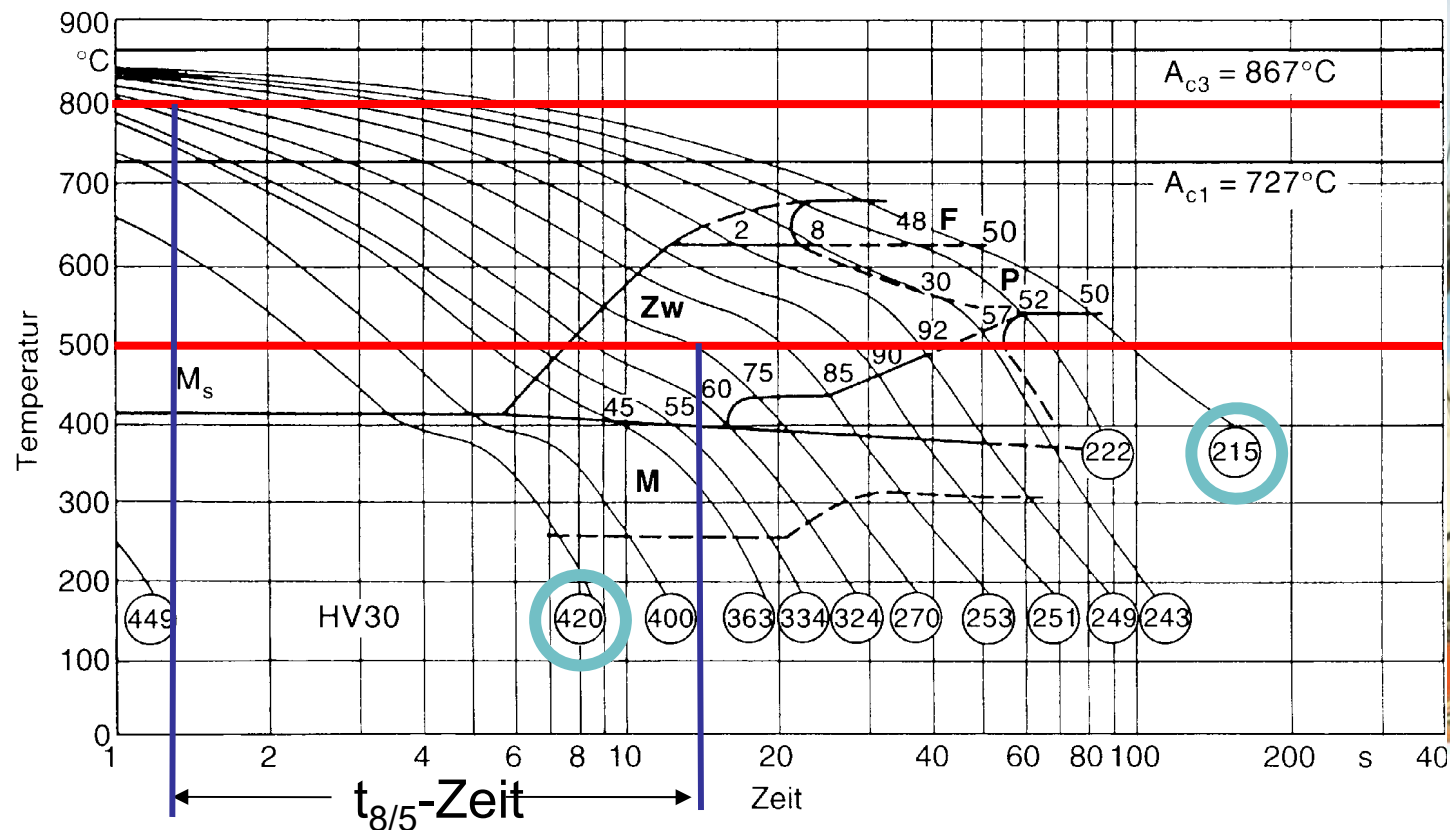
$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (\text{basiert auf Härtemessungen, IIW})$$

<b>Kohlenstoffäquivalent CEV</b>	<b>Vorwärmtemperatur [°C]</b>
< 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

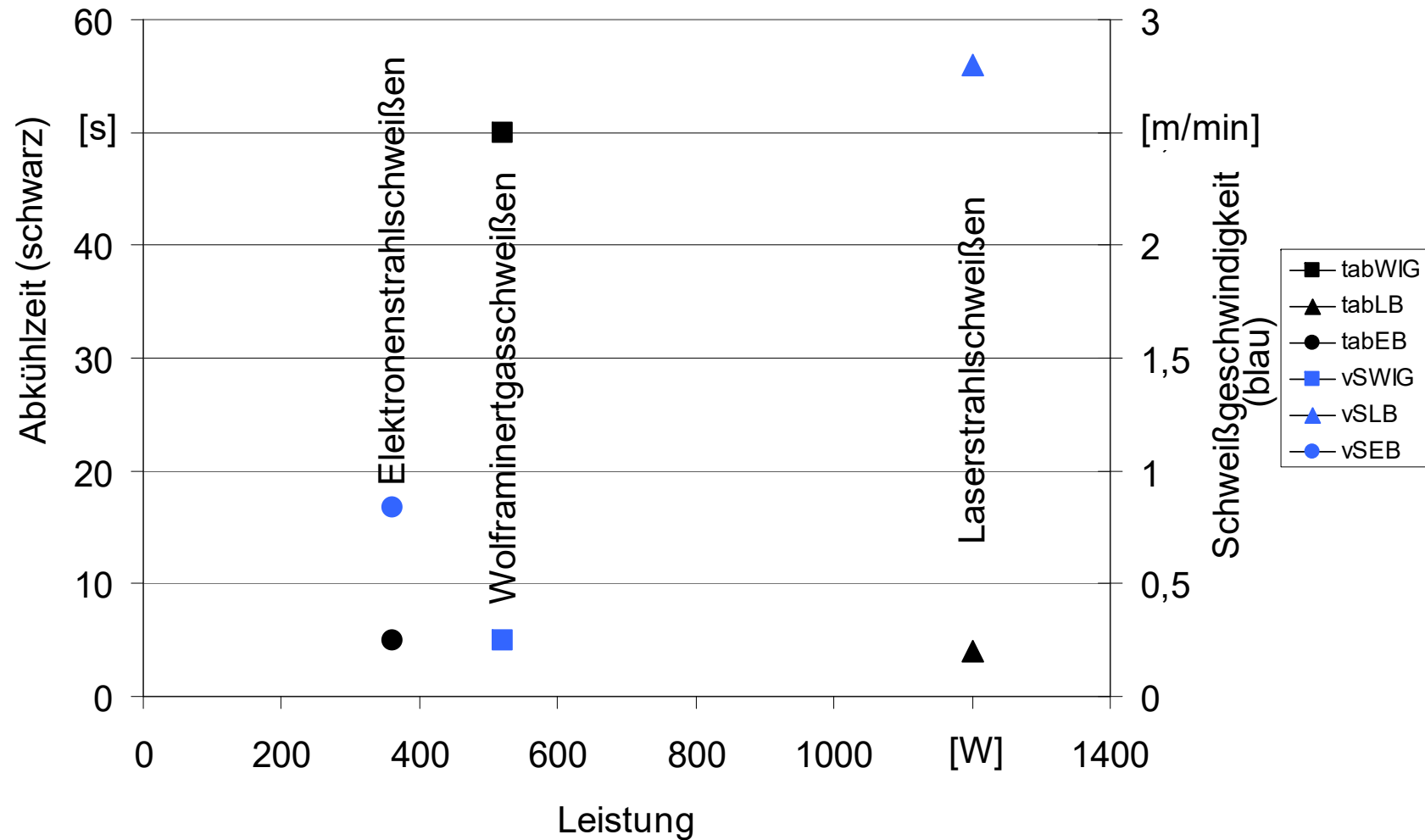
<b>S 355</b>	Spitzentemperatur 1350°C	Schweißwärmezyklus
--------------	--------------------------	--------------------

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





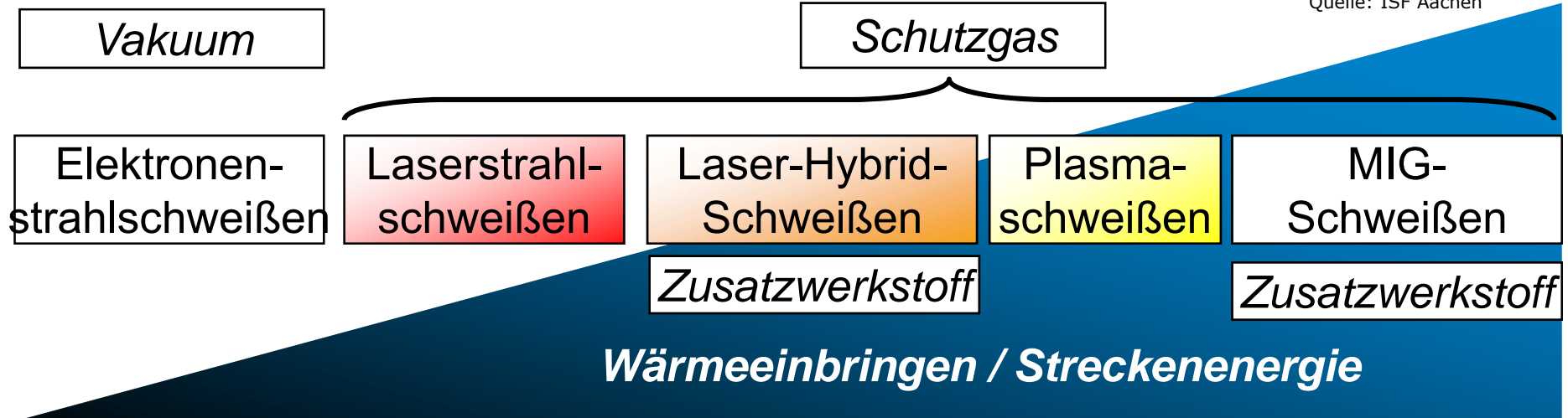
# Abkühlzeit und Schweißgeschwindigkeit



Quelle: J.P. Bergmann

# Stumpfstoßschweißung an Blechen Wärmeeinbringung

Quelle: ISF Aachen



# Grenzwerte für die Härte?

- 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  $\leq 350$  HV10



---

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



---

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



Härteprüfung (jeweils min. 3 Eindrücke je Bereich):

- Grundwerkstoff,
- Wärmeeinflusszone (WEZ),
- Schweißgut,
  
- $d \leq 5$  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

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

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



---

# DIN EN ISO 9015-1:2011-05

---



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

Teil 1: Härteprüfung für **Lichtbogenschweißverbindungen**

---

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

---



## 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,
- nicht für austenitische Werkstoffe.

# DIN EN ISO 9015-1:2011-05

(Ersatz für DIN EN 1043-1:1996-02)



## Prinzip:

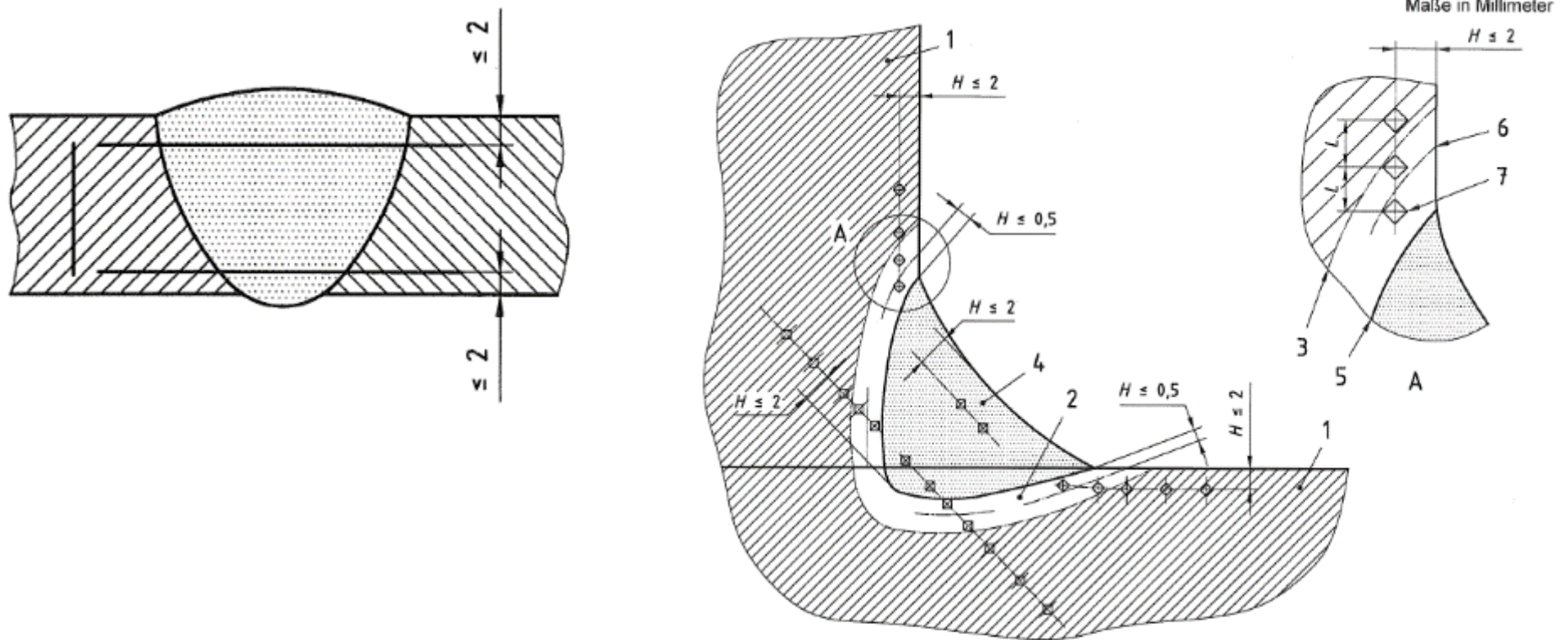
- Raumtemperatur ( $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ),
- Härtereihen oder Einzeleindrücke,
- Anwendungsnormen oder Vereinbarungen,
- Abstand der Messpunkte: 0,7 mm bei HV5; 1 mm bei HV10 für Eisenmetalle  
(bei Al- oder Cu-Legierungen bis zu 5 mm).

(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: **Stumpfnah**, **Kehlnah**



### 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



Vickershärte Kurzzeichen	Empfohlener Abstand zwischen den Eindrücken in der WEZ [mm] <sup>a</sup>	
	Eisenwerkstoffe <sup>b</sup>	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

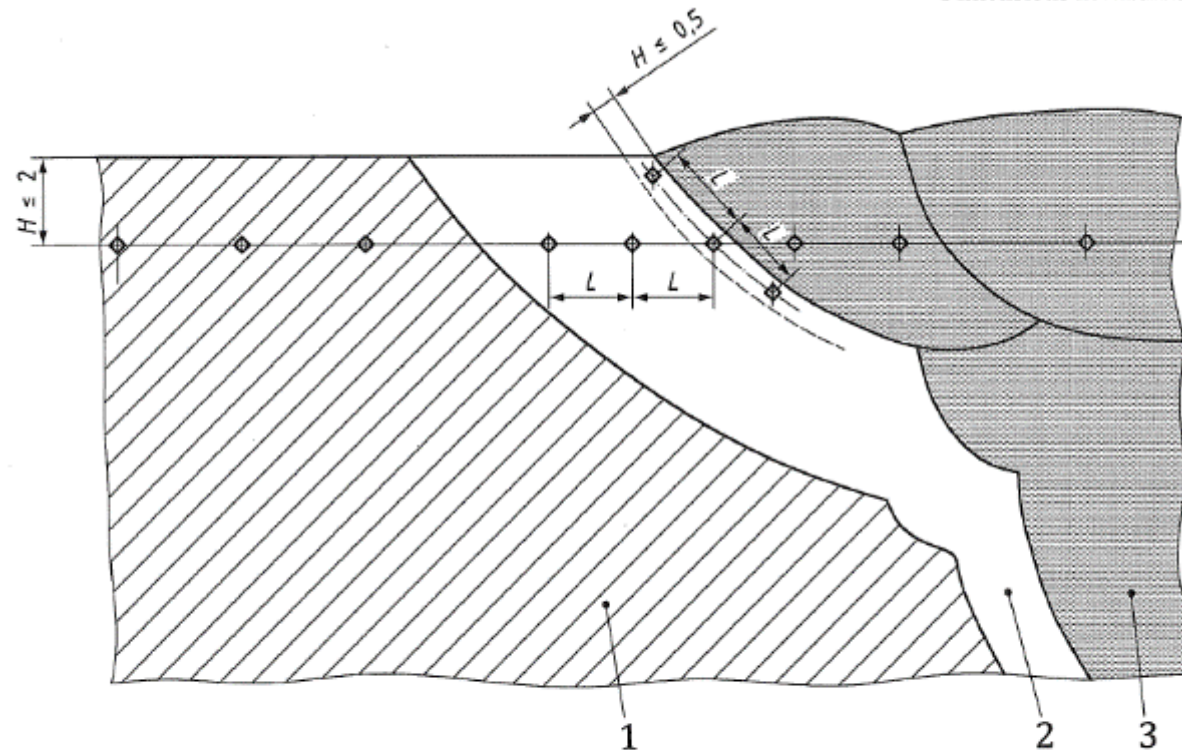
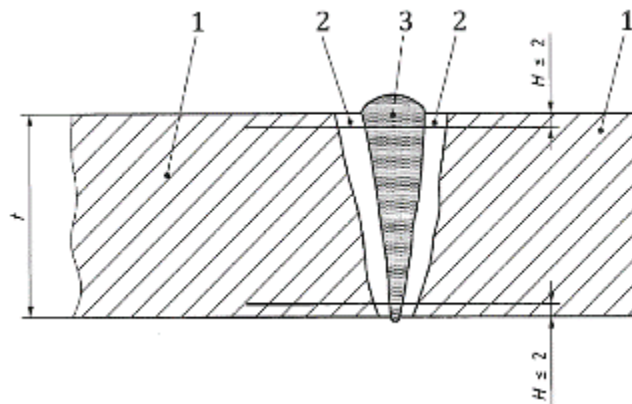
<sup>a</sup> Der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Eindrücke darf nicht kleiner sein als der Mindestwert, der nach ISO 6507-1 erlaubt ist.

<sup>b</sup> Außer austenitische Stähle

# DIN EN ISO 9015-2:2016-10

## Mikrohärtemessungen

Dimensions in millimetres



### Key

- 1 parent material
- 2 heat affected zone
- 3 weld metal

## **DIN EN ISO 15614:**

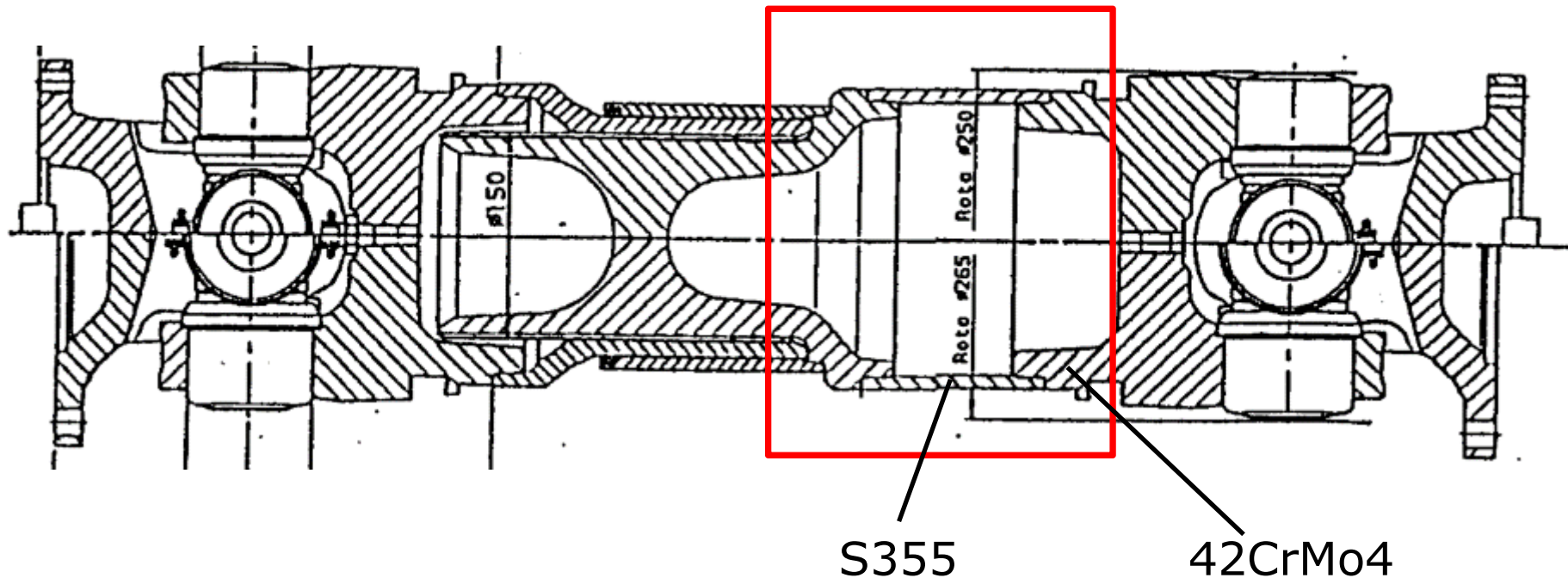
- Festlegung bei welchen Schweißverfahren welche Normen anzuwenden sind (HV5, HV10 oder Mikrohärtete)
- erste Angaben, wo mit welchen Abständen gemessen werden soll.

## **DIN EN ISO 9015:**

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



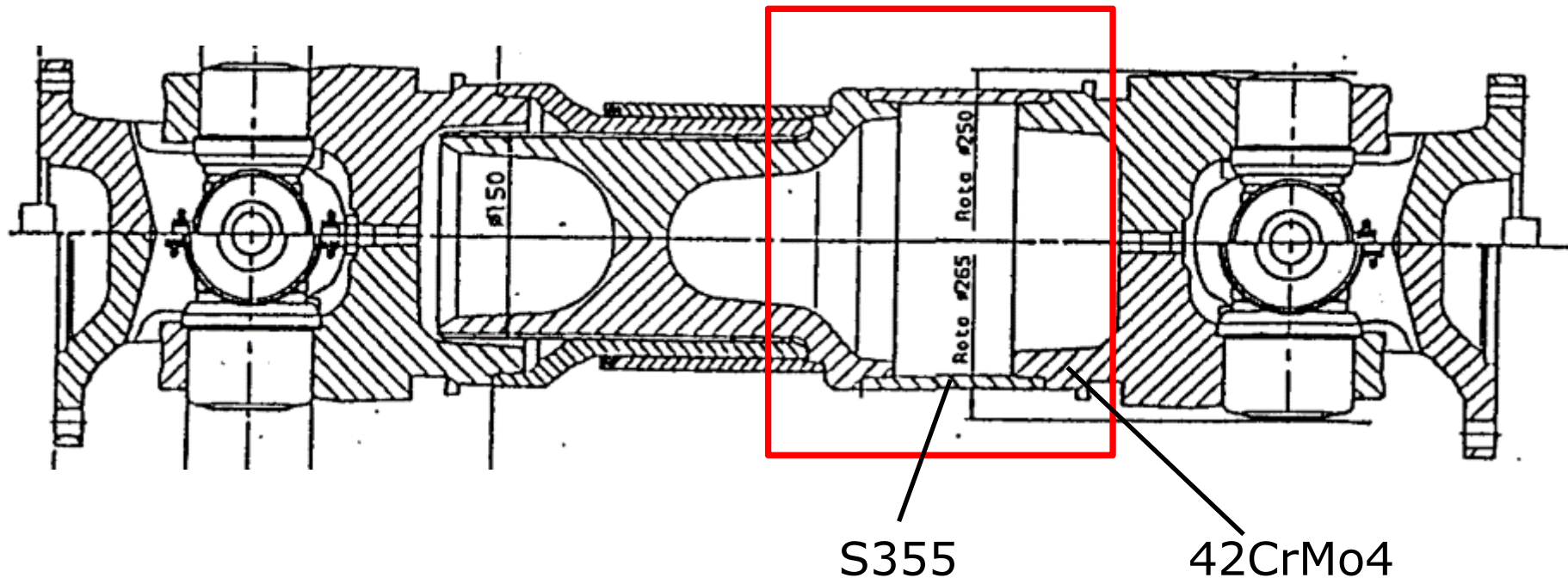
# Beispiel Gelenkwelle - Presse Rohrschweißung, S355 – 42CrMo4



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

- Metallaktivgasschweißen (MAG)
- Laserstrahlschweißen (LB)

# Beispiel Gelenkwelle - Presse Rohrschweißung, S355 – 42CrMo4



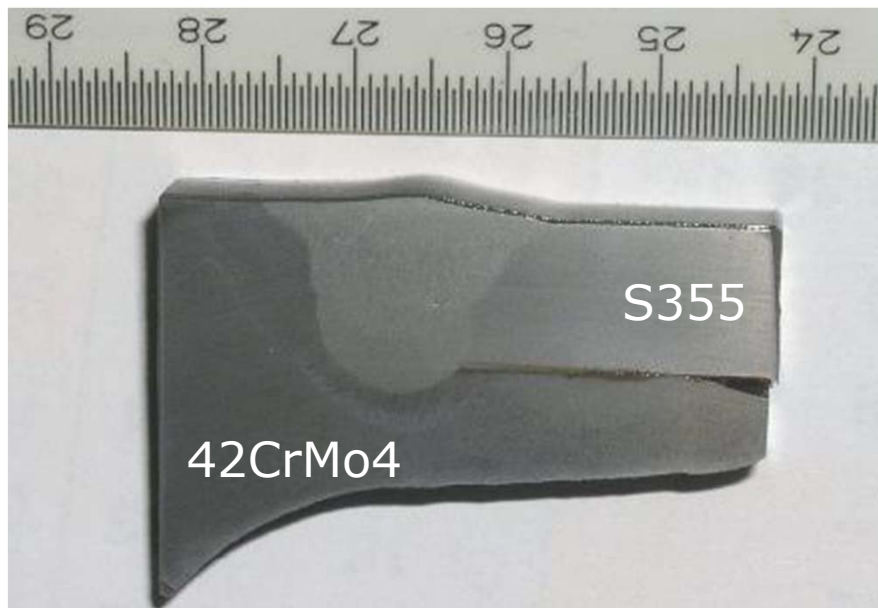
Beanspruchung:

- Umlaufbiegung
- Torsion

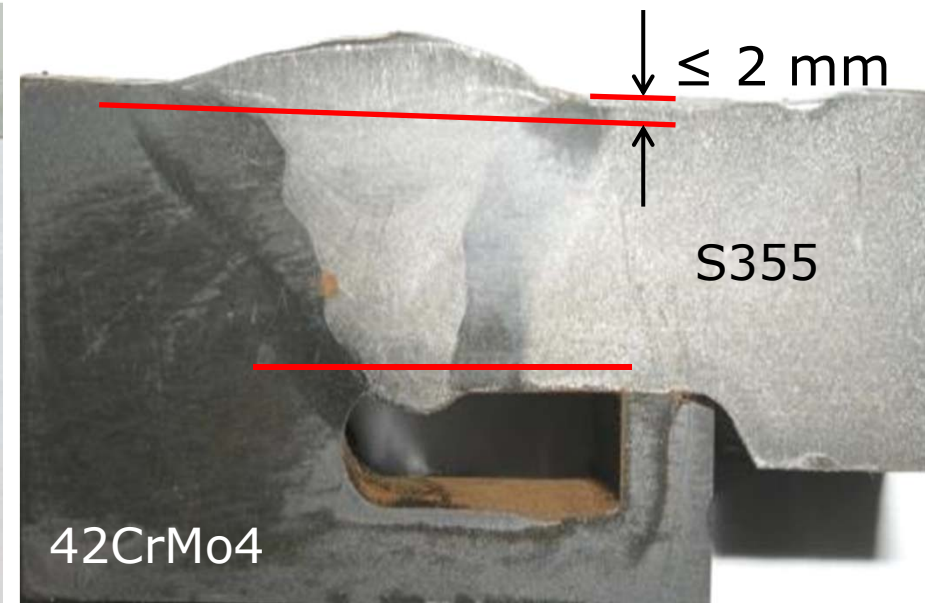
Werkstoffe:

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

# Beispiel Gelenkwelle MAG-Rohrschweißung, S355 – 42CrMo4



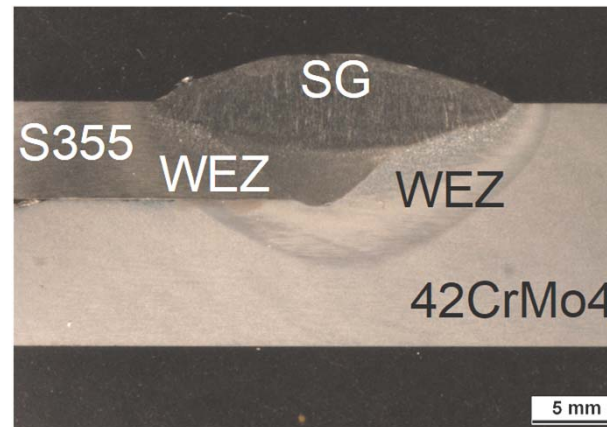
Konventioneller Stumpfstoß



Modifizierter Stumpfstoß



# Gelenkwelle MAG-Schweißung



S355

42CrMo4

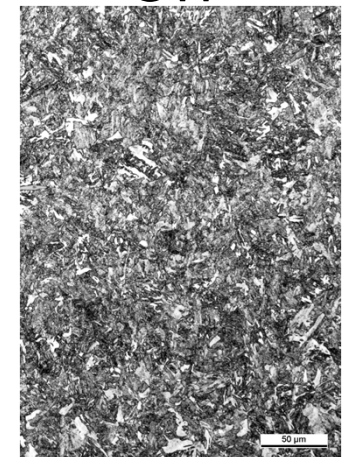
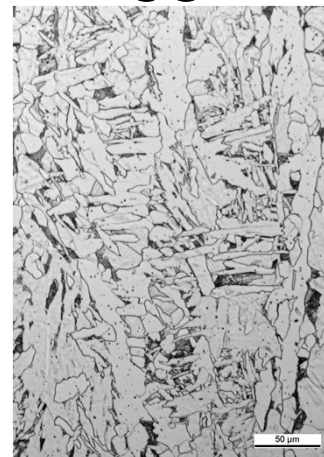
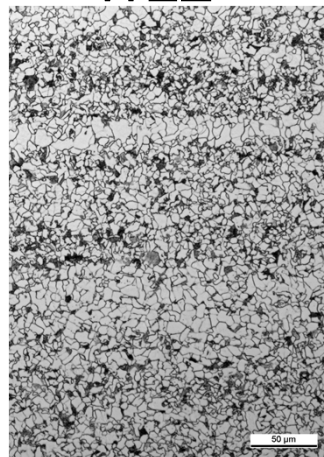
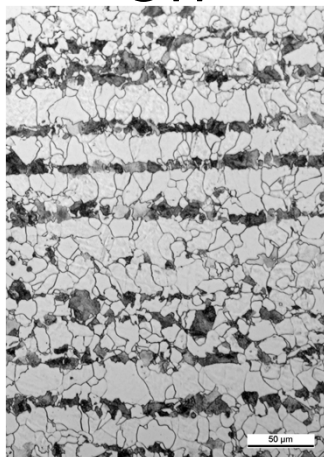
GW

WEZ

SG

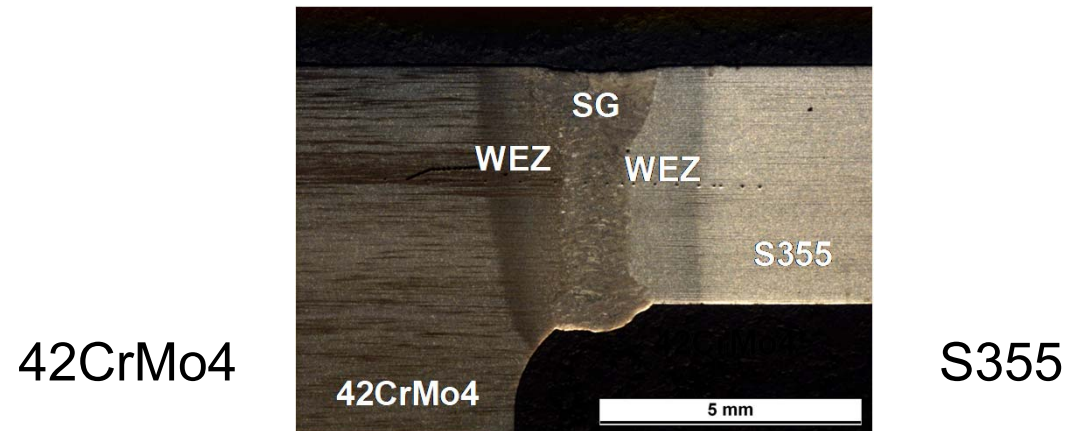
WEZ

GW

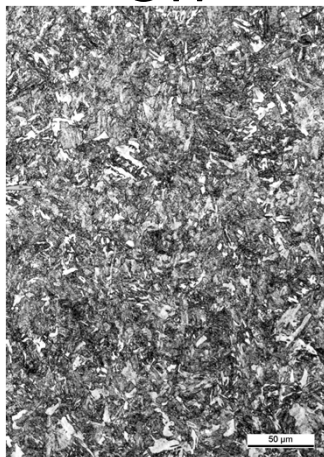


# Gelenkwelle

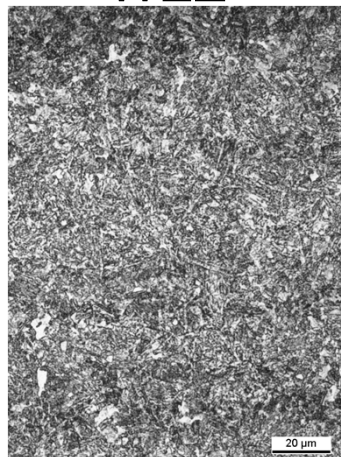
## Laserstrahl-Schweißung



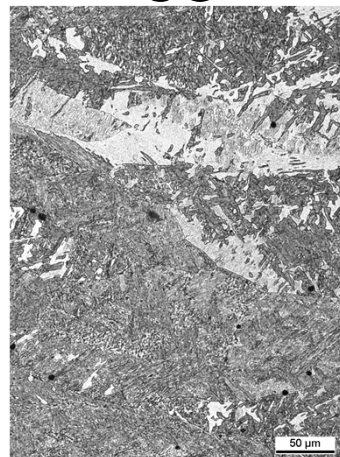
GW



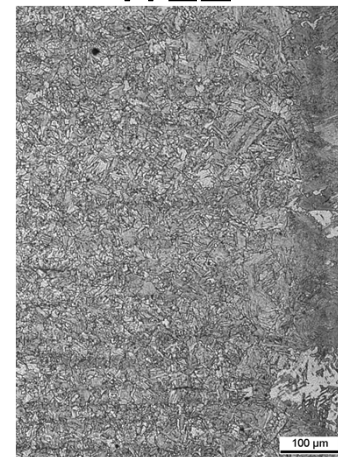
WEZ



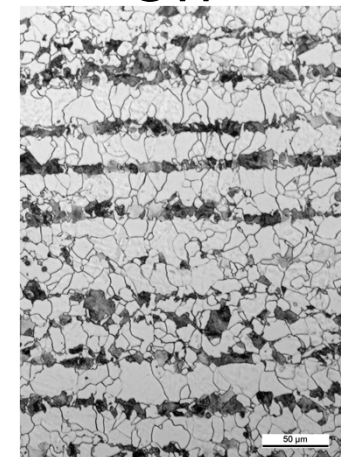
SG



WEZ



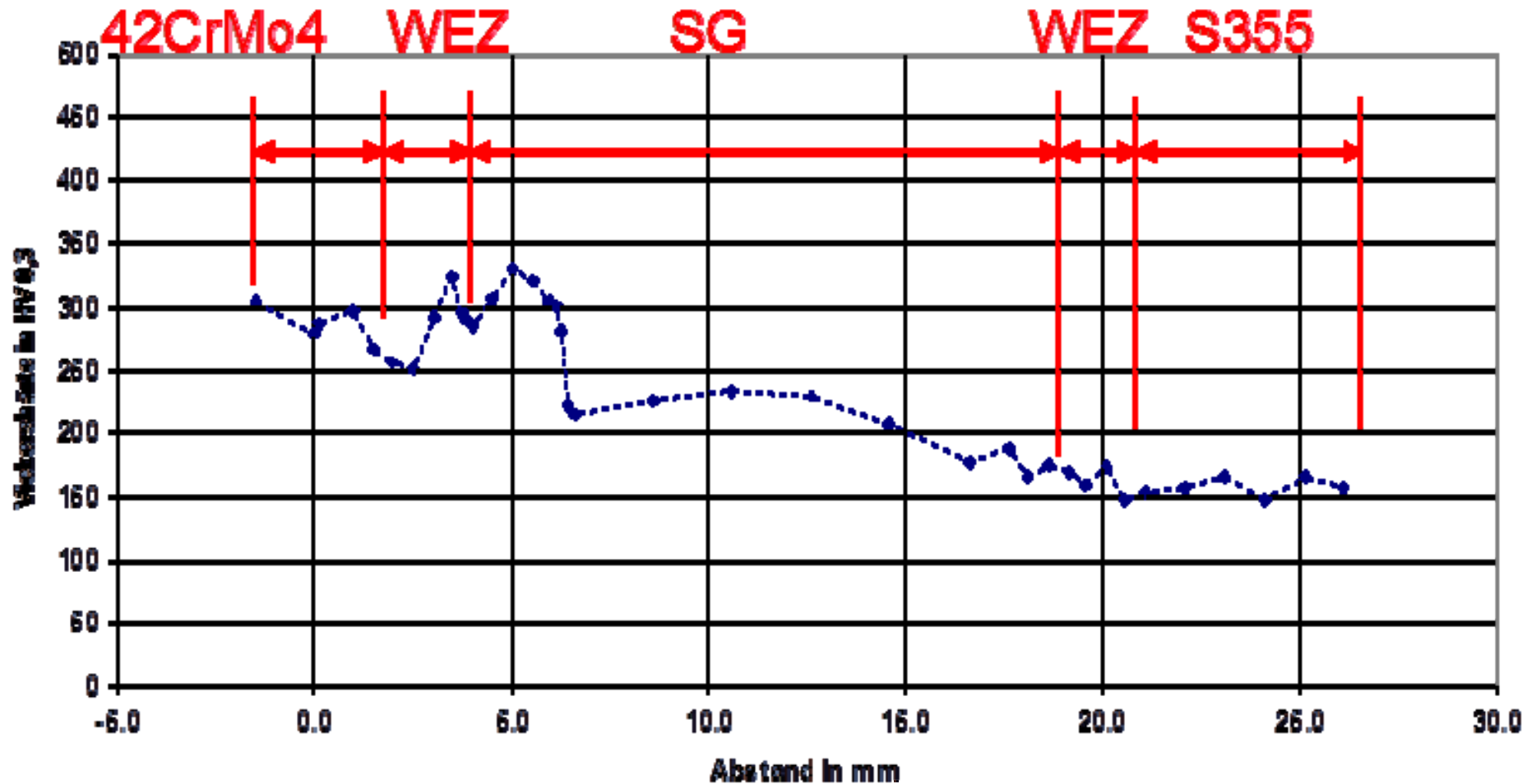
GW





# MAG-Schweißung

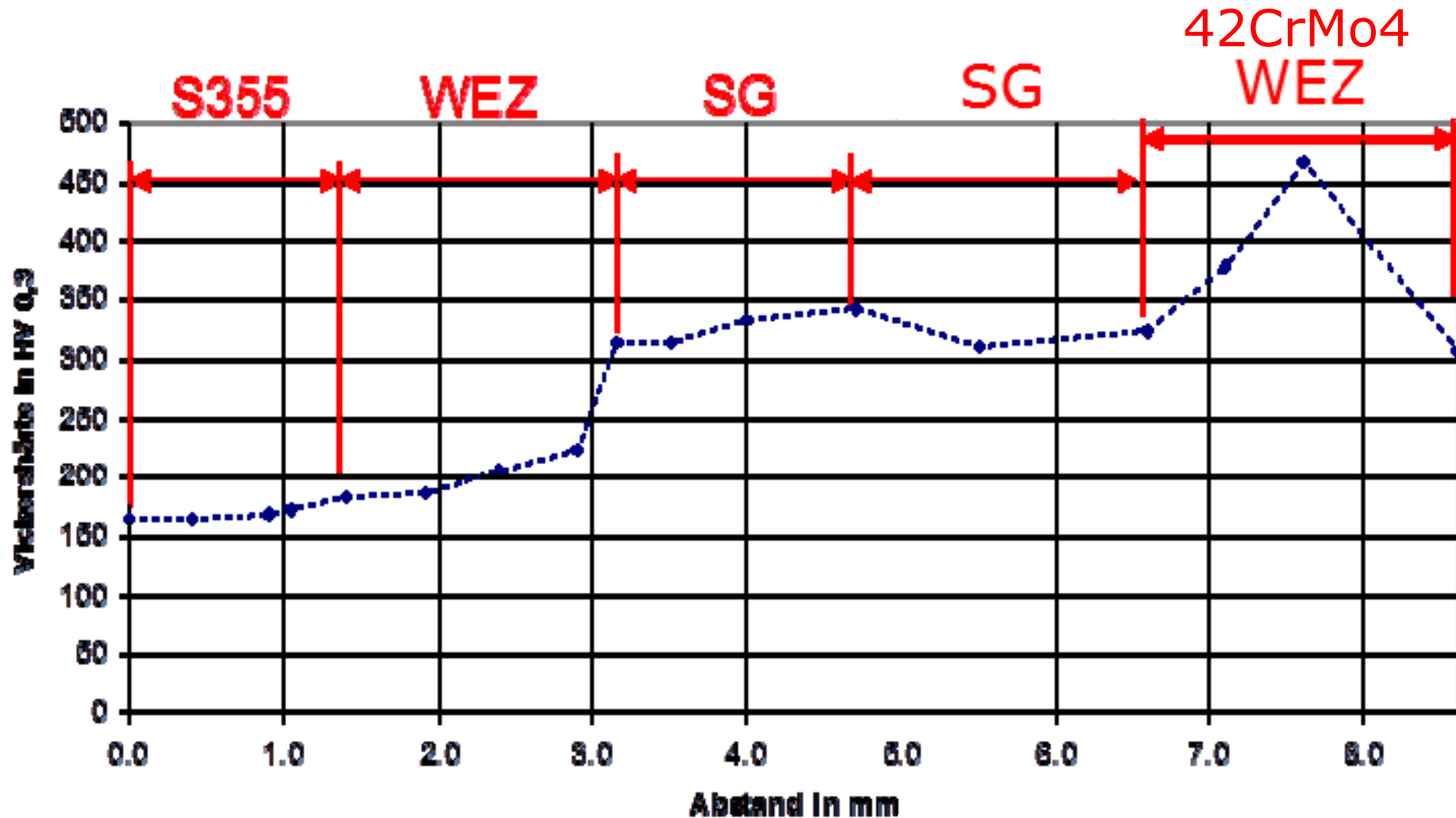
## Härteverlauf nach Vickers HV0,3





# Laserstrahl-Schweißung

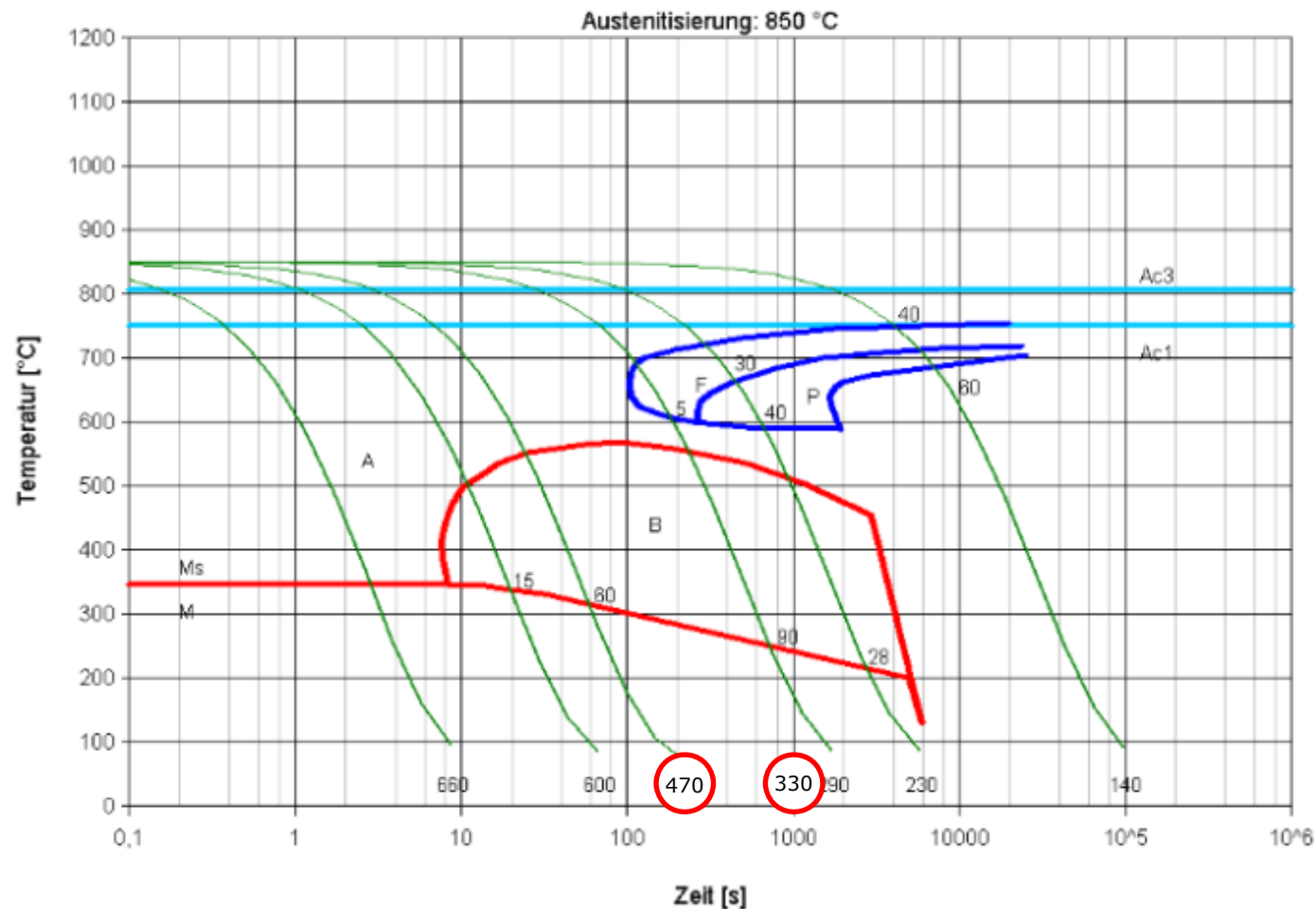
## Härteverlauf nach Vickers HV<sub>0,3</sub>



# ZTU-Schaubild 42CrMo4

Quelle: Saarstahl

Kontinuierliches ZTU-Schaubild



## MAG:

330 HV<sub>0,3</sub>:  
80 % Bainit  
20 % Martensit

## Laserstrahl:

470 HV<sub>0,3</sub>:  
60 % Bainit  
40 % Martensit

Grenzwert lt. DIN  
EN ISO 15614-1:  
**450 HV<sub>10</sub>**

# Auswahl des Schweißverfahrens durch Konformitätsbewertung



## DIN EN ISO/IEC 17025

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



**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

zur Überprüfung

- der Fertigungsqualität,
- der „richtigen“ Schweißparameter,
- des Gefügestandes und
- zur **Vermeidung von Rissbildung**.



# Zusammenfassung

## Härteprüfungen an Schweißnähten



- Einfluss verschiedener **Parameter** auf **Härte** (chemische Zusammensetzung, Gefügestand, 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](mailto:ellermeier@mpa-ifw.tu-darmstadt.de)



# 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](mailto:ellermeier@mpa-ifw.tu-darmstadt.de)

