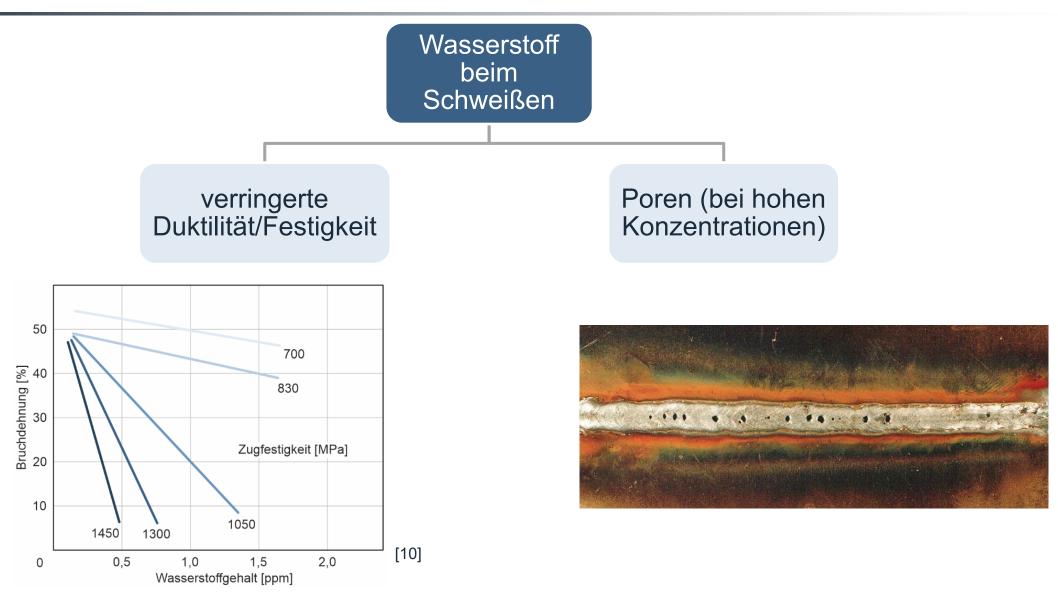




Probleme vom Wasserstoff beim Schweißen



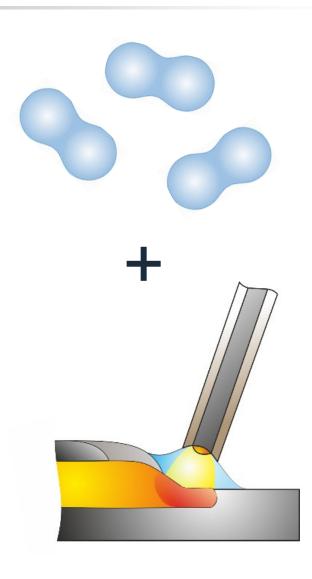


Übersicht



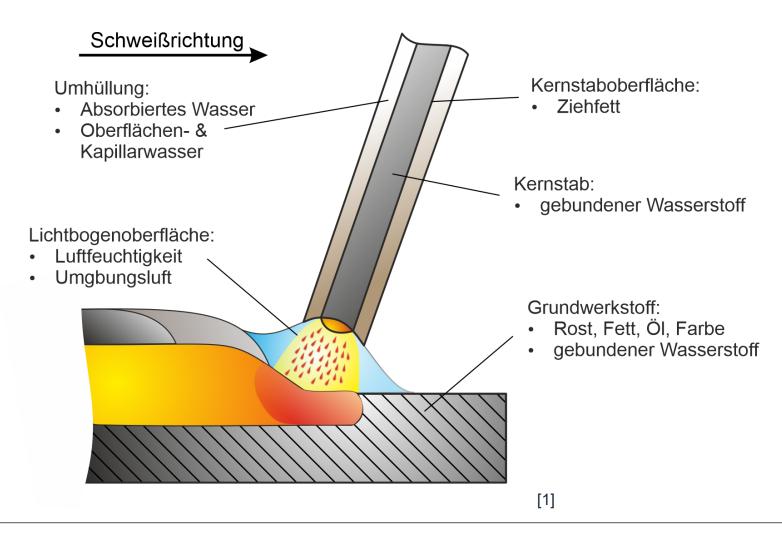
Wasserstoff beim Schweißen

- Wie kommt er in die Schweißnaht?
- Wie wirkt er sich aus?
- Was kann ich dagegen tun?
- Wasserstoff und Schweißnähte: Ist das immer schlecht?
- Forschung an der MPA: Wasserstoff im SLM-Verfahren



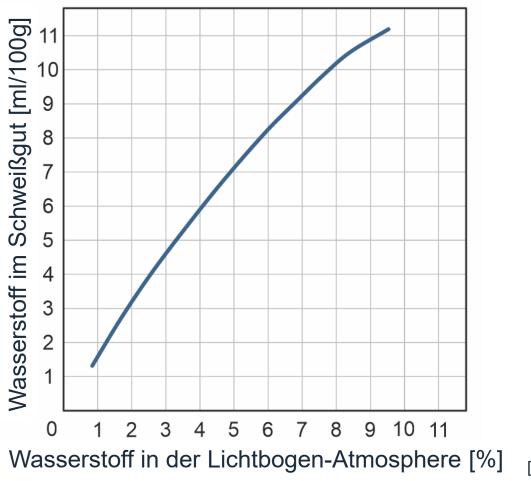


(Stab-) Elektrode





Wasserstoff aus der Atmosphäre





E-Hand | Umhüllungstypen

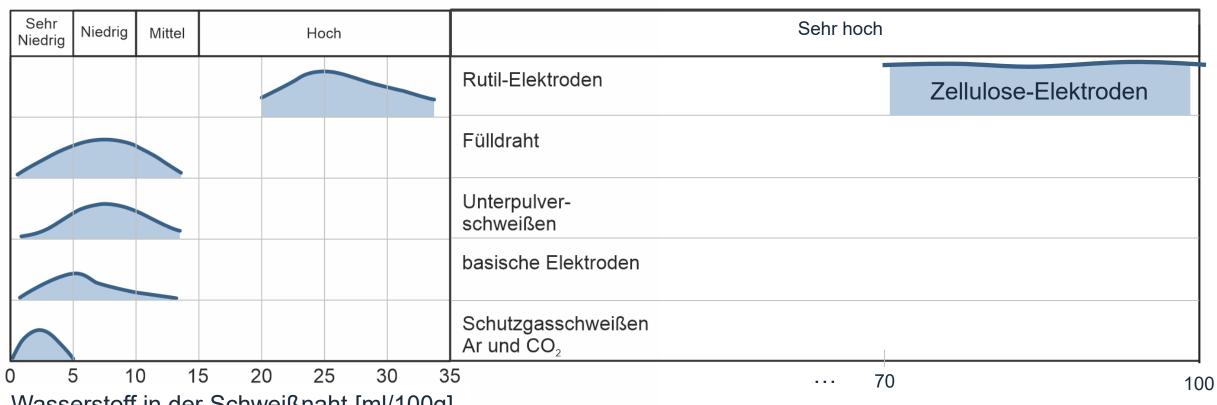


	Zellulosetyp "C"	Saurer Typ "A"		Rutiltyp "R"		Basischer Typ		
Bestandteile [%]	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Magnetit Fe ₃ O ₄ Quarz SiO ₂ Kalkspat CaCO ₃ FeMn Bindemittel	50 20 10 20	Rutil TiO ₂ Magnetit Fe ₃ O ₄ Quarz SiO ₂ Kalkspat CaCO ₃ FeMn Bindemittel	45 10 20 10 15	Flussspat CaF ₂ Kalkspat CaCO ₃ Quarz SiO ₂ FeMn Bindemittel	45 40 10 5	
Tropfen-übergang	mitteltropfig	fein-tropfig – sprühregenartig		mittel- bis feintropfig		mittel- bis großtropfig		
Zähigkeits-wert	gut	normal		gut		sehr gut		
mögliche Schweiß- positionen	alle/gut bei PG	nicht in Zwangslager	nicht in Zwangslagen		PA, PB,PC, PE, PF, (PG nur begrenzt)		in allen Positionen	
Bemerkung	bildet weniger Schlacke und deshalb auch bei Fallnähte gut	neigt zur Bildung vor Einbrandkerben	neigt zur Bildung von Einbrandkerben		gute mechanische Gütewerte/feine Naht		Der Flussspat verschlechtert in höheren Gehalten die Wechselstrom- schweißbarkeit.	



Feuchtigkeit in der Elektrodenumhüllung

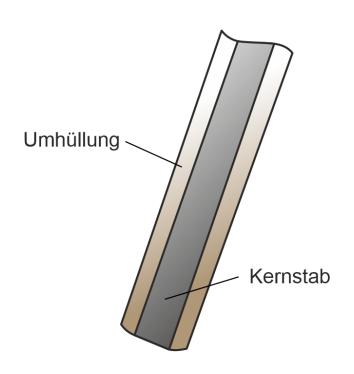




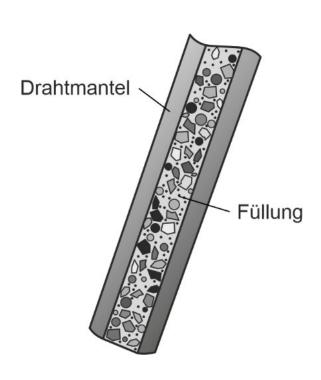
Wasserstoff in der Schweißnaht [ml/100g]

[4]

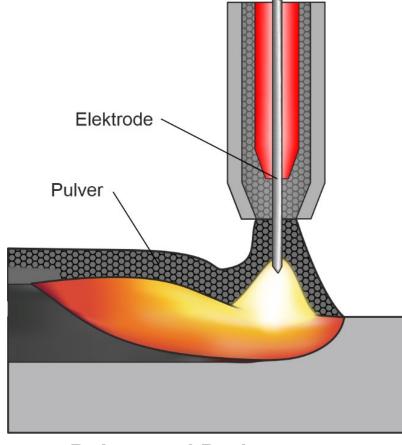




Stabelektrode (E-Hand)



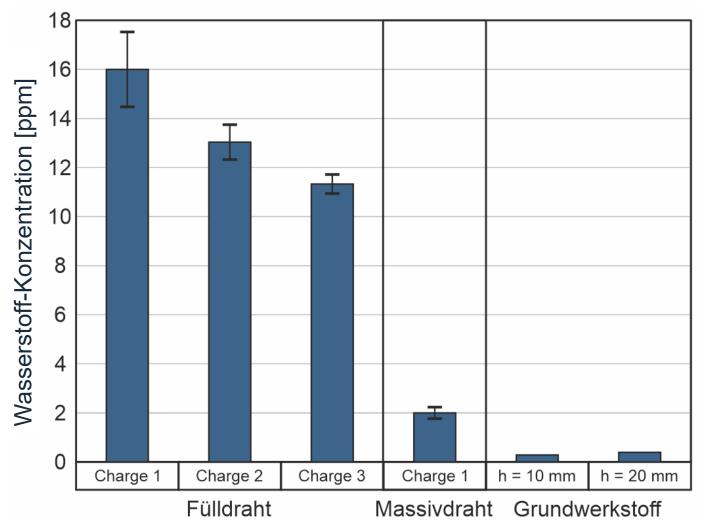
Fülldrahtelektrode (MAG, Fülldraht)



Pulver und Draht separat (UP-Schweißen)



Wasserstoffgehalt in Grundwerkstoff Schweißzusatz

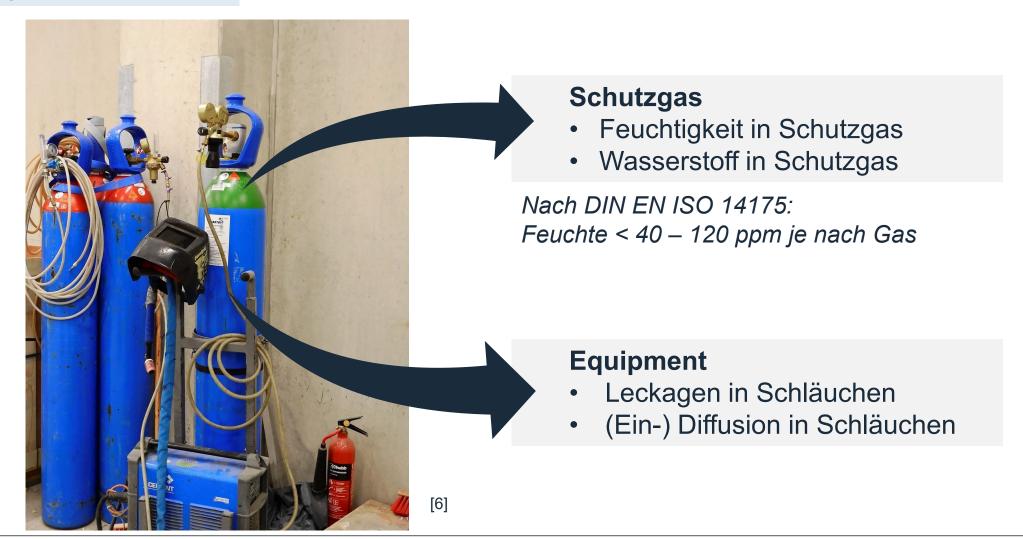


[5]

Gesamtwasserstoffkonzentration im Auslieferungszustand



Schutzgas & Equipment



Wasserstoffeintrag



Effusion und Rekombination

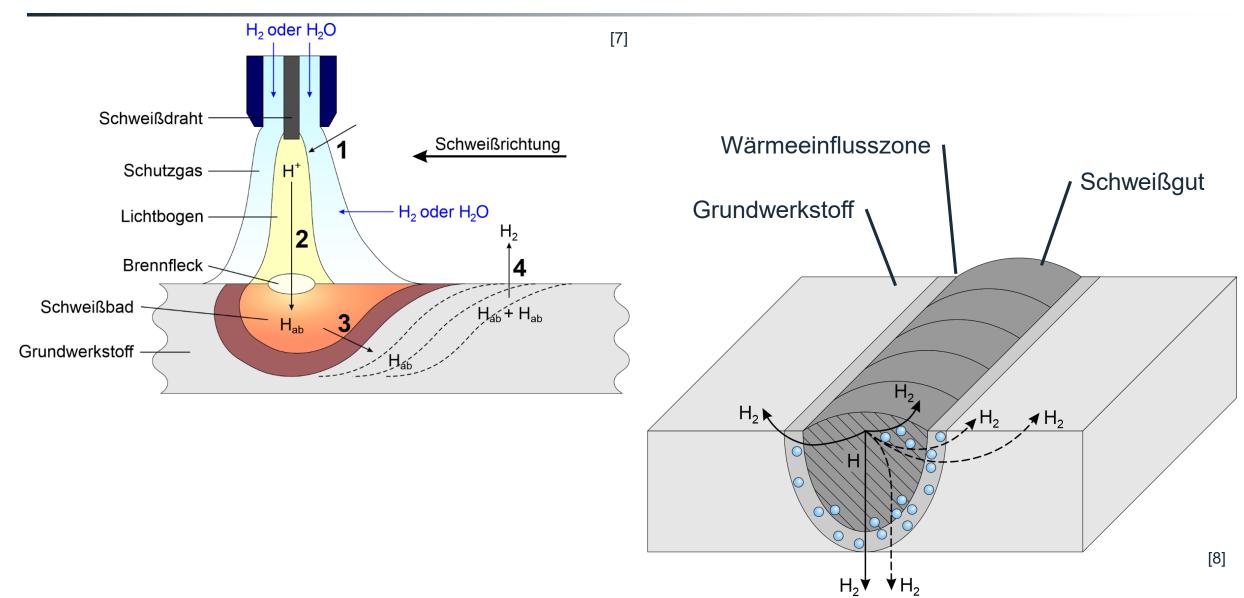
Dissoziation im Lichtbogen

Absorption ins Schmelzbad Diffusion in erstarrte Schweißnaht

Diffusion im Metallgitter

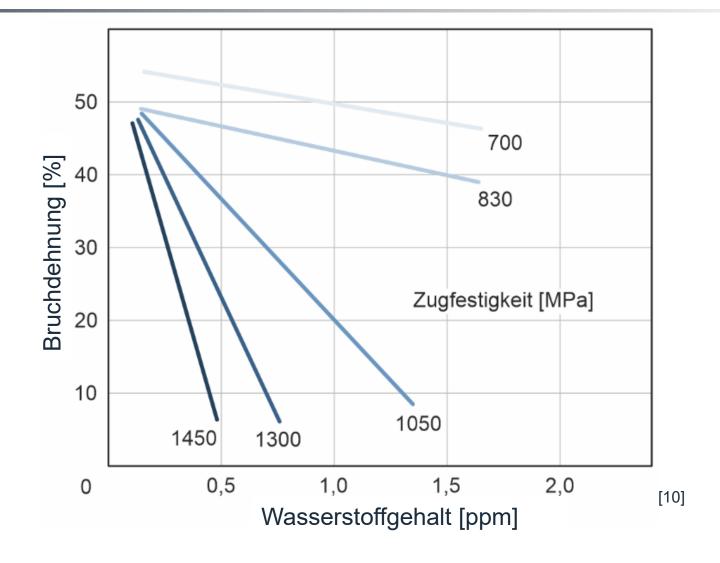
Wasserstoffeintrag





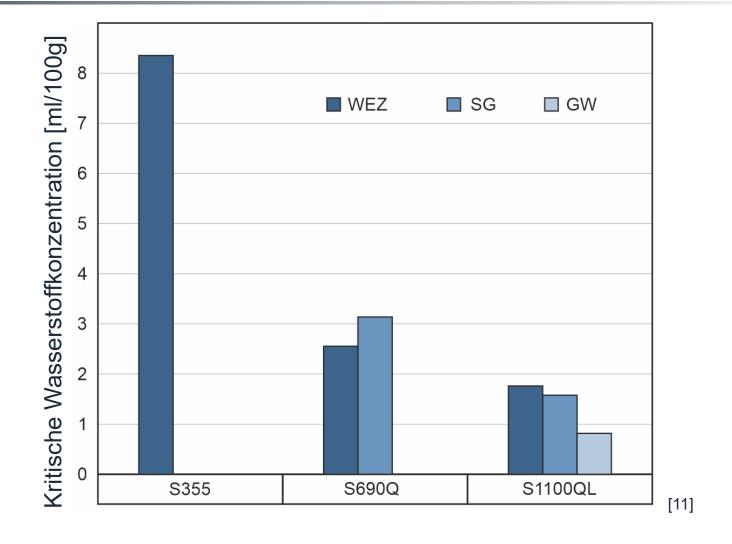
Werkstoffdegradation durch Wasserstoff





Werkstoffdegradation durch Wasserstoff

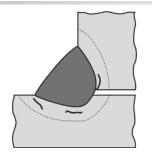




Wasserstoffunterstützter Kaltriss



Kaltrissneigung



Mikrostruktur Werkstoff

- Gefüge
- Korngröße
- Versetzungsdichte
- ...



H-Konzentration *Fertigung*

- Eingebrachter
 Wasserstoff beim
 Schweißen
- Diffusion im Werkstoff

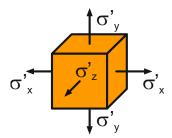




Mechanische Beanspruchung

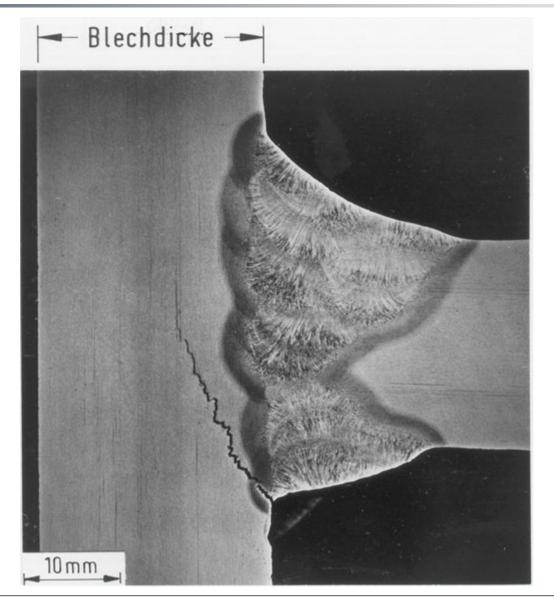
Konstruktion & Fertigung

- Eigenspannungen
- Spannungen durch
 Schrumpfbehinderungen



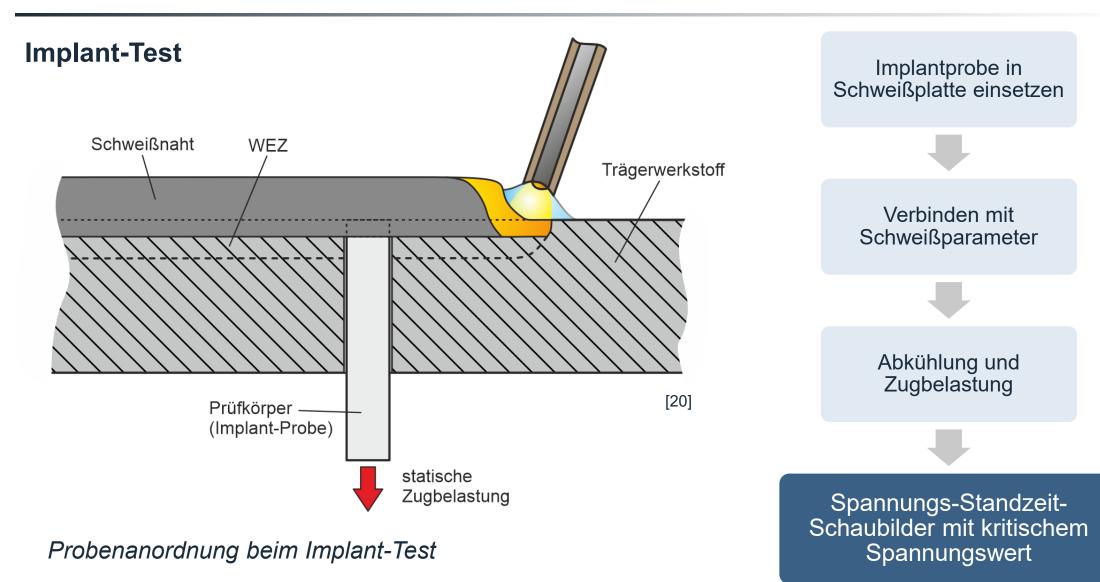
Wasserstoffunterstützter Kaltriss





Kaltrissprüfverfahren





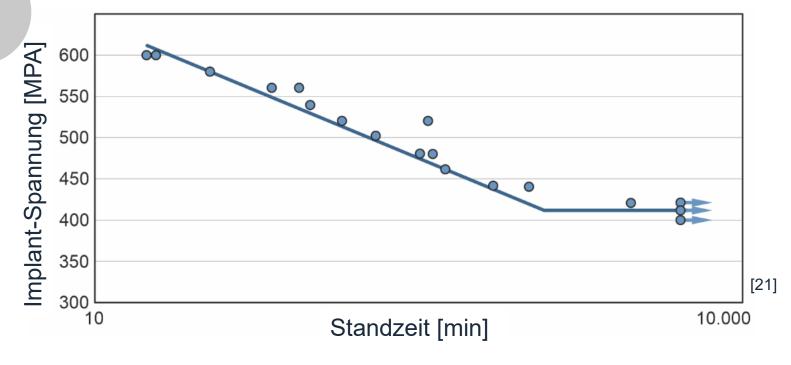
Kaltrissprüfverfahren



Implant-Test

- Geringer Werkstoffbedarf
- Feinstufige Einstellbarkeit der der Einflussfaktoren
- Quantitativ einfach erfassbare Ergebnisse

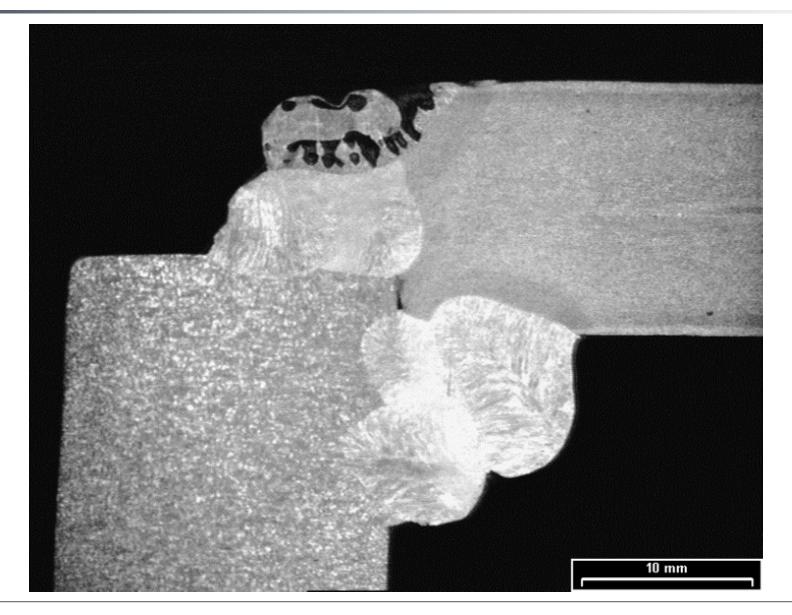
Meistverwendetes Kaltrissprüfverfahren mit Fremdbeanspruchung



Vorwärmtemperatur = konstant Streckenenergie = konstant $t_{8/5}$ = konstant H_{diff} = konstant

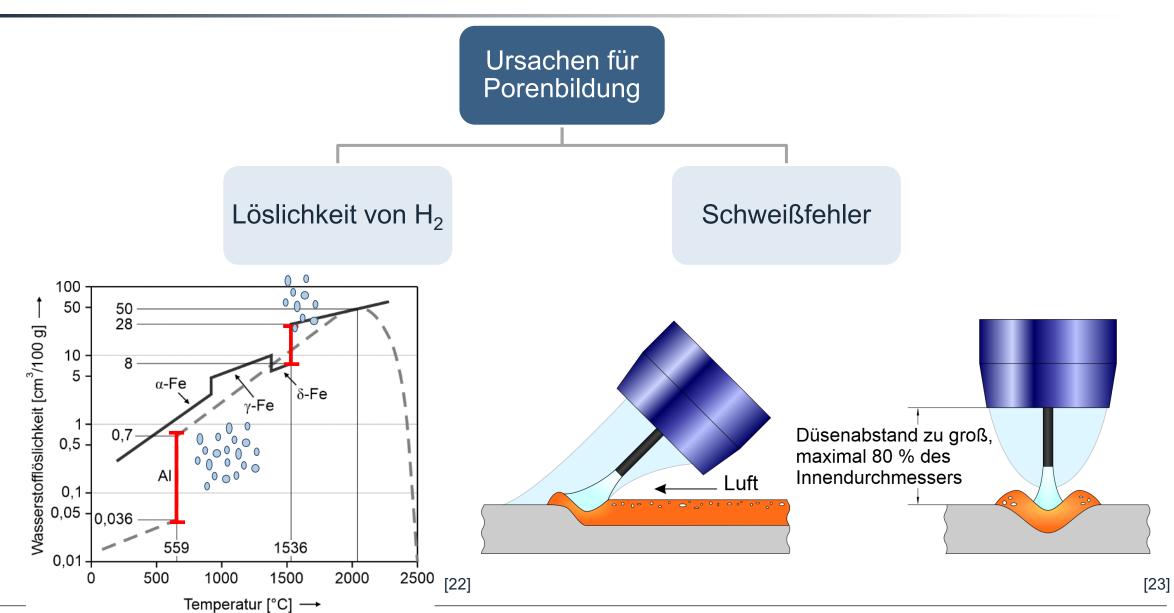
Porenbildung





Porenbildung





Porenvermeidung



Porenvermeidung

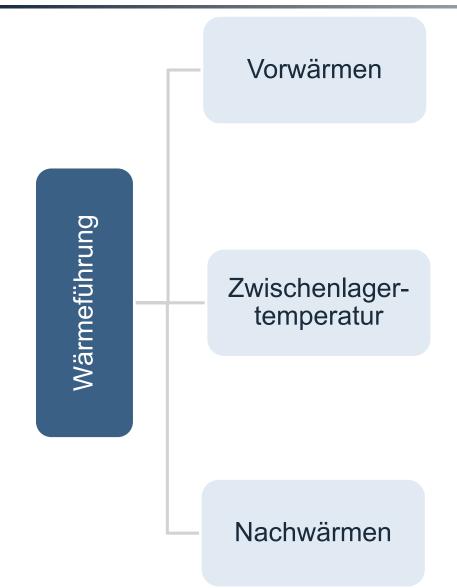
- Schweißtechnik beachten
- Sauberkeit beim Werkstück und Zusatzwerkstoff
- Effusion verstärken durch





Maßnahmen zur Wasserstoffreduktion





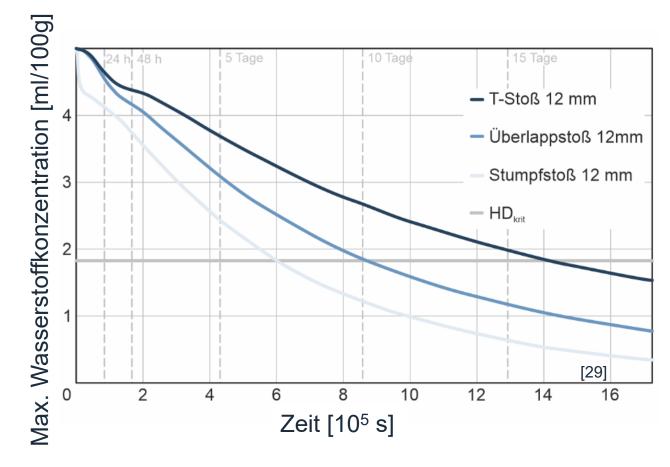
- vorwiegend zur Trocknung der Bleche und Gefügeeinstellung
- Verlängerung der Wasserstoffeffusionszeit, allerdings Abkühlzeit (meist) zu kurz
 - → kaum Wirkung auf H-Konzentration

- Bei 50-200 °C (je nach Blechdicke)
- Vorwärmtemperatur für Folgeraupe (bei Mehrlagenschweißen)
- Diffusionsgeschwindigkeit zu gering
 - → kaum Wirkung auf H-Konzentration

- effektivstes Mittel
- Bei 200-300 °C ca. 2h (Blechdicke 30mm)
 - → Wasserstoffarmglühen
- empfohlen: Nachwärmen aus Schweißwärme heraus

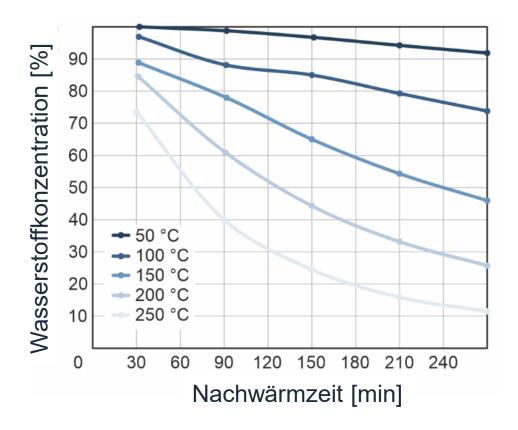
Maßnahmen zur Wasserstoffreduktion





Verlauf der maximalen Wasserstoffkonzentration über der Zeit für unterschiedliche Nahtgeometrien

HRHT-Diagramm für den höherfesten Feinkornbaustahl S1100QL





[30]

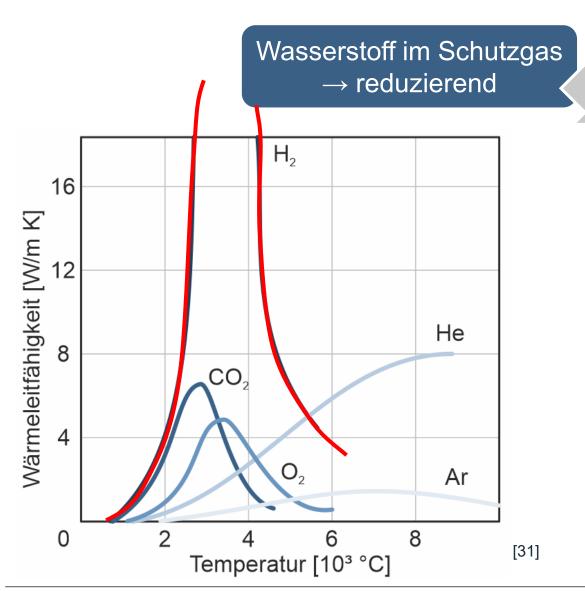
Maßnahmen zur Wasserstoffreduktion





Wasserstoff im Schutzgas



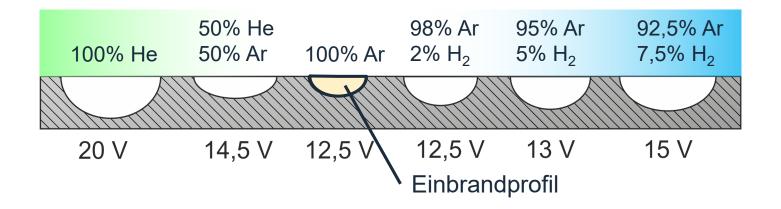


- Höhere Schweißgeschwindigkeit
- Reduktion der Anlassfarben
- Schmale Nähte und tiefer Einbrand
- Formiergas: Schutz der Nahtwurzel

- Typische Wasserstoffanteile: 0,5 20%
- Beispiele:
 - VARIGON® H2 (2% H2 & Rest Ar)
 - Formiergas 90/10 (10% H2 & Rest N)
- Einsatz bei hochlegierten Stählen,
 Nickellegierungen, austenitischen Stählen

Einbrandprofile beim WIG Schweißen mit verschiedenen Schutzgasen

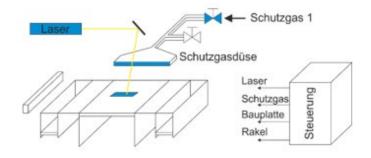




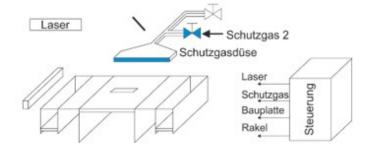
Ausblick: Forschung an der MPA



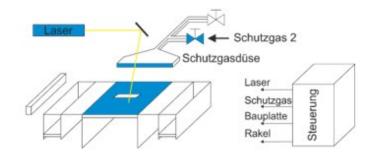
1. Belichtung von Teilbereich A unter Schutzgas 1



2. Flutung der Baukammer mit Schutzgas 2



3. Belichtung von Teilbereich B unter Schutzgas 2

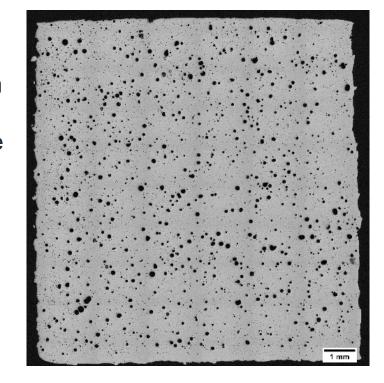


Schutzgase:

- Stickstoff (Austenitbildner)
- Kohlenstoffdioxid (Aufkohlen)
- Sauerstoff (Reduktion von Kohlenstoff)
- Wasserstoff (Porenbildung)
- •

Aluminiumschaum:

- durch Wasserstoff gezielte Porosität im Werkstoff
- abhängig von Partialdruck große/kleine Poren
- Einsatz z.B. im Leichtbau



[32]





Fragen.!?

Dr.-Ing. Martin Werz

Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart Abteilung Fügetechnik und Additive Fertigung Abteilungsleiter

Telefon: +49-711-685-62597

E-mail: martin.werz@mpa.uni-stuttgart.de

Bildquellen



- (1) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (2) Jenkins, N. & Pargeter, R. J. (1973). Welding steels without hydrogen cracking. Abington Publishing.
- (3) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (4) Jenkins, N. & Pargeter, R. J. (1973). Welding steels without hydrogen cracking.
- (5) Industrielle Gemeinschaftsforschung, Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18.596 BR. (2017). Ermittlung geeigneter Wärmeführungen zur Vermeidung wasserstoffunterstützter Kaltrisse beim Schweißen höherfester Feinkornbaustähle mit modifiziertem Sprühlichtbogen.
- (6) von https://pixabay.com/de/photos/gas-schwei%C3%9Fen-schwei%C3%9Fer-schutzgas-2147487/, abgerufen am 17.04.2021
- (7) Industrielle Gemeinschaftsforschung, Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18.596 BR. (2017). Ermittlung geeigneter Wärmeführungen zur Vermeidung wasserstoffunterstützter Kaltrisse beim Schweißen höherfester Feinkornbaustähle mit modifiziertem Sprühlichtbogen.
- (8) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (9) Zauchner, T. (2015). Diffusion von Wasserstoff in Reineisen. Diplomarbeit Montanuniversität Leoben.
- (10) Zauchner, T. (2015). Diffusion von Wasserstoff in Reineisen. Diplomarbeit Montanuniversität Leoben.
- (11) Industrielle Gemeinschaftsforschung, Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18.596 BR. (2017). Ermittlung geeigneter Wärmeführungen zur Vermeidung wasserstoffunterstützter Kaltrisse beim Schweißen höherfester Feinkornbaustähle mit modifiziertem Sprühlichtbogen.
- (12) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (13) Zauchner, T. (2015). Diffusion von Wasserstoff in Reineisen. Diplomarbeit Montanuniversität Leoben.
- (14) von https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-hydrogen-embrittlement-mechanism-a-the-HELP-mechanism-and-b-the-HEDE_fig5_330757375, abgerufen am 12.04.2021.
- (15) von https://www.researchgate.net/figure/HEDE-mechanism-representation-iron-bonds-are-weaken-by-hydrogen-in-the-lattice_fig19_268368156, abgerufen am 15.04.2021
- (16) Zauchner, T. (2015). Diffusion von Wasserstoff in Reineisen. Diplomarbeit Montanuniversität Leoben.

Bildquellen



- (17) von https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-hydrogen-embrittlement-mechanism-a-the-HELP-mechanism-and-b-the-HEDE_fig5_330757375, abgerufen am 12.04.2021.
- (18) von https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustration-of-three-hydrogen-embrittlement-mechanisms-Hydrogen-Enhanced_fig1_325086541, abgerufen am 12.04.2021.
- (19) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (20) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (21) Industrielle Gemeinschaftsforschung, Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 17.016 BR. (2013). *Untersuchung des Wasserstoffgefährdungspotentials warmungeformter Bauteile aus hochfestem Stahl.*
- (22) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (23) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (24) GSI Gesellschaft für Schweißtechnik. (2015). Internationaler Schweißfachfachingenieurlehrgang.
- (25) Industrielle Gemeinschaftsforschung, Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18.596 BR. (2017). Ermittlung geeigneter Wärmeführungen zur Vermeidung wasserstoffunterstützter Kaltrisse beim Schweißen höherfester Feinkornbaustähle mit modifiziertem Sprühlichtbogen.
- (26) von https://www.metallbau-magazin.de/artikel/mb_2012-01_Lichtbogenschweissen_1347696.html , abgerufen am 15.04.2021.
- (27) Jenkins, N. & Pargeter, R. J. (1973). Welding steels without hydrogen cracking. Abington Publishing.
- (28) Industrielle Gemeinschaftsforschung, Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18.596 BR. (2017). Ermittlung geeigneter Wärmeführungen zur Vermeidung wasserstoffunterstützter Kaltrisse beim Schweißen höherfester Feinkornbaustähle mit modifiziertem Sprühlichtbogen.
- (29) Industrielle Gemeinschaftsforschung, Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 18.596 BR. (2017). Ermittlung geeigneter Wärmeführungen zur Vermeidung wasserstoffunterstützter Kaltrisse beim Schweißen höherfester Feinkornbaustähle mit modifiziertem Sprühlichtbogen.
- (30) Industrielle Gemeinschaftsforschung, Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 17.016 BR. (2013). *Untersuchung des Wasserstoffgefährdungspotentials warmungeformter Bauteile aus hochfestem Stahl.*
- (31) von https://www.dieschweissprofis.de/ratgeber/was-sind-schweissprozessgase-tipps-fuer-praktiker, abgerufen am 25.04.2021