

Untersuchung zum Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an Bleche aus höher- bis höchstfesten Werkstoffen

SLV München NL der GSI mbH

Dipl.-Ing. Thomas Bschorr

Dr.-Ing. H. Cramer

Ausgangssituation

hohe Wirtschaftlichkeit
kostengünstig

große Anwendung in
blechverarbeitender
Industrie

neue Stahlwerkstoffe:
CP, TRIP, 22MnB5

Befestigungs- u.
Anschlusssteile:
Muttern,
Bolzen

Widerstands- schweißen

Qualität u.a. abhängig von:

- Werkstoffeigenschaften
- Buckelgeometrie
- Schweißmaschine
- Schweißparameter

*angeregt aus
der Arbeitsgruppe
AGV3.2*

Erfahrungen

- **Mischverbindungen problematisch (Rissbildung, hohe Aufhärtungen, hohe Streuung der Festigkeit)**
- **keine allgemein verfügbaren Erkenntnisse**



PBA - Mitglieder

- BMW AG
- DaimlerChrysler
- ThyssenKrupp Steel
- Harms und Wende
- Volkswagen AG
- Ideal – Werk
- Conntronic
- Limbach / Fastenrath / Nedschroeff (Mutternlieferanten)

Ziel

Vergleich der Gerätetechnik und Stromquellenart

Buckelschweißmaschinen

MF (Dalex)

CD (Conntronic)

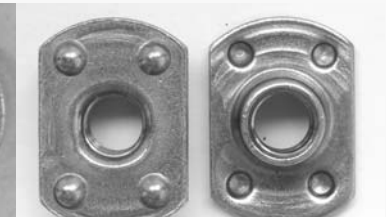
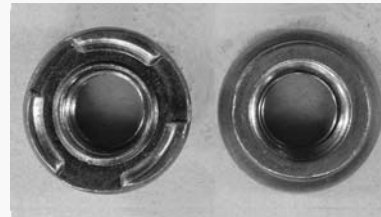
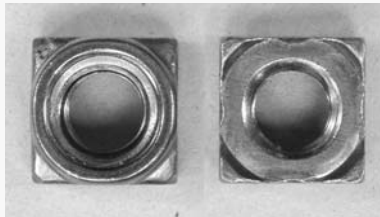
AC (Düring)

- Werkstoffvergleich
- Vergleich der Schweißbarkeit
unters. Muttergeometrien
mit verschiedenen
Buckelgeometrien

Optimierung der Verbindungsqualität

- Ermittlung von Parameterfenstern
- Schweißbereichsdiagrammen
- Verfahrensgrenzen
- Prüfung (Gewindegängigkeit
Kopfzug, Drehmoment)
- Schliff
- Härteprüfung

Ansichten der Schweißmuttern



Vierkant
Schweißmutter
4 Schweißwarzen
(kurz: 4KM8)

Rundschweißmutter
3 segmentierte
Schweißwarzen

Ringflanschbolzen
3 segmentierte
Schweißwarzen

„Limbachmutter“
4 geprägte
Rundbuckel

C-Gehalt: 0,13 bis 0,19 %
Mn-Gehalt: 0,38 bis 0,45 %

Schweißparameterbereiche:
 $F_{EL} = 2,0 - 10,0 \text{ kN}$
 $t_S = 20 - 400 \text{ ms}$
 $I_S = 10 - 40 \text{ kA}$

Qualitätsanforderungen der Anwender

A: M6, $F_Z = 3,5 \text{ kN}$, $M_D = 30 \text{ Nm}$
M8, $F_Z = 5,5 \text{ kN}$, $M_D = 60 \text{ Nm}$

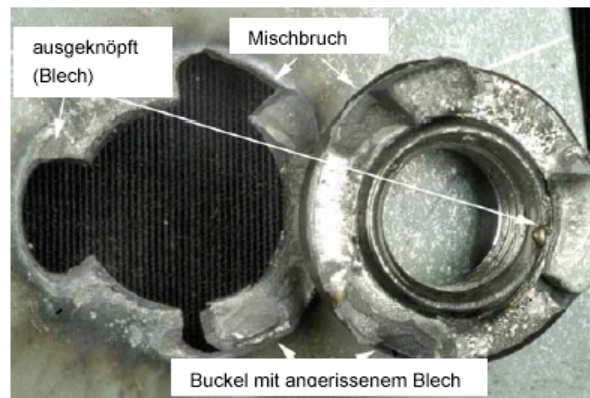
B: M6, $F_Z = 5,0 \text{ kN}$, $M_D = 30 \text{ Nm}$ (Blechdicke 1,5 mm)
M8, $F_Z = 5,5 \text{ kN}$, $M_D = 60 \text{ Nm}$ (Blechdicke 2,0 mm)

C: M6, $F_Z = 2,5 \text{ kN}$, $M_D = 35 \text{ Nm}$ (Blechdicke 1,7 mm)
M8, $F_Z = 4,0 \text{ kN}$, $M_D = 85 \text{ Nm}$ (Blechdicke 3,0 mm)

+ Schliffe, Gefügebeurteilungen

Brucharten beim Widerstandsmutternschweißen

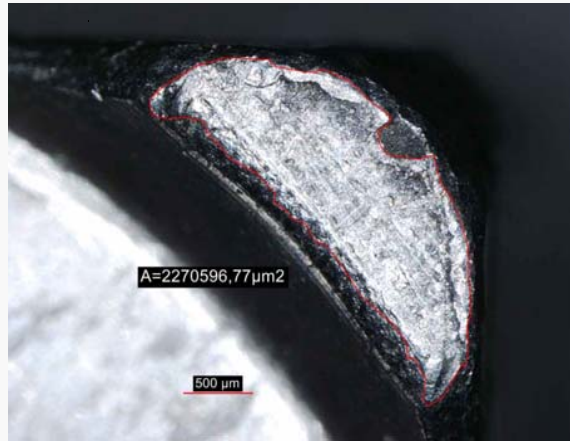
1		2		3		4		5	
C3-6070-1		C3-6120-1		C3-6200-1		C3-6200-6		C3-6200-2	
Blech	Buckel	Blech	Buckel	Blech	Buckel	Blech	Buckel	Blech	Buckel
Schweißzone (Sz)				Mischbruch (Mb)		Buckel (Bu)		Blech (Bl)	
Haftschweißung		Schweiß-verbinding		Kombination aus Bl und Sz Bruch		Fügestelle bricht im Grundwerkstoff der Mutter		vollkommenes Ausknöpfen des Blechs	
vgl. Anhang Bild 62a, b, 63a, c									



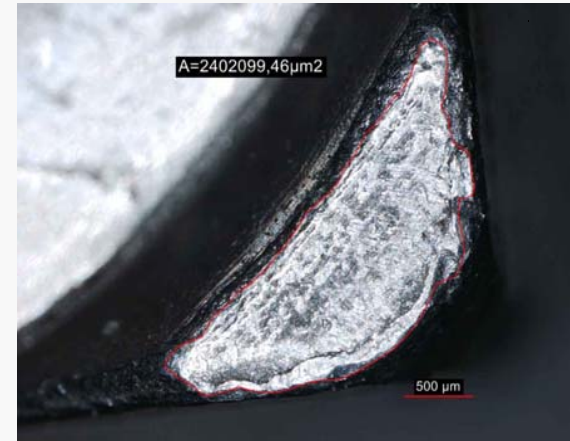
Kriterien zur Beurteilung der Gewindegängigkeit

einwandfreie Gewindegängigkeit (unteres Kriterium)	gute Gewindegängigkeit (mittleres Kriterium)	schlechte Gewindegängigkeit (oberes Kriterium)
Spritzergrenze; garantiert keine Spritzer am und im Gewinde	Einzelne Spritzer im Gewindeansatz	größere Spritzer im Gewinde, oder Schweißperlen am Gewindeeingang
Gewindegängigkeit wie im Neuzustand vor Schweißung.	Gewinde kann von Hand durch minimalen Kraftaufwand beim Eindrehen bzw. durch vorheriges Säubern mittels Klopfen oder Ausblasen gangbar gemacht werden.	Schraube nicht mehr von Hand eindrehbar. Säubern von Spritzern nur noch bedingt möglich. Schraube kann mit Schlagbohrer eingedreht werden, darf aber beim Ansatz nicht verlaufen.
Beispiele		
		
Vereinzelt kleine Schweißperlen, die aber nur am Mutterrand erscheinen.	Schweißperlen mittlerer Größe am Rand und kleine im Gewindegang.	Große Schweißperlen am Rand und im Gewindegang. An den rot markierten Stellen quillt Schmelzgut in das Gewinde, die „Warzen“ bilden.

Buckelaufstandsflächenänderung, 4-kant Mutter M8



Neuzustand: $A = 2,27 \text{ mm}^2$



Neuzustand: $A = 2,40 \text{ mm}^2$



F10 kN, 3s: $A = 2,62 \text{ mm}^2$

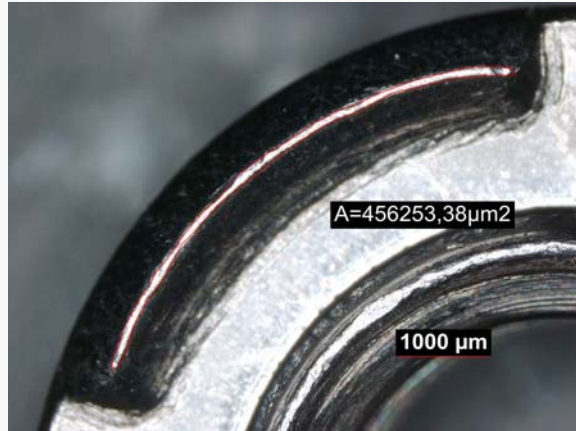
+ 15 %



F10 kN. 3s: $A = 2,84 \text{ mm}^2$

+ 18 %

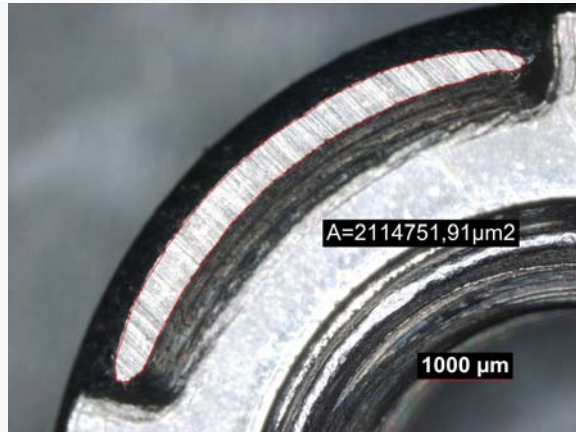
Buckelaufstandsflächenänderung, Rundmutter M8



Neuzustand: $A = 0,45\ \text{mm}^2$

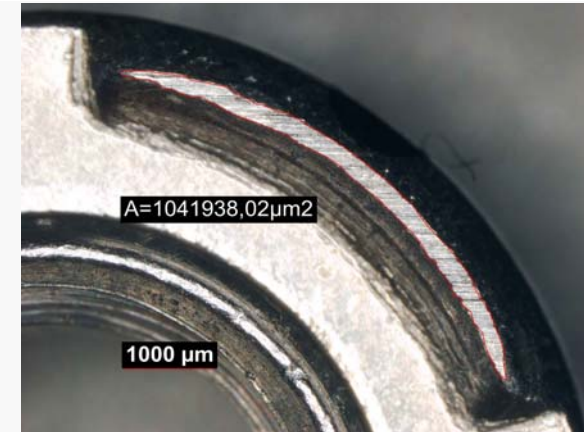


Neuzustand: $A = 0,51\ \text{mm}^2$



Nach F 10 kN, 3s: $A = 2,27\ \text{mm}^2$

+ 400 %



Nach F 10 kN, 3s: $A = 1,04\ \text{mm}^2$

+ 100 %

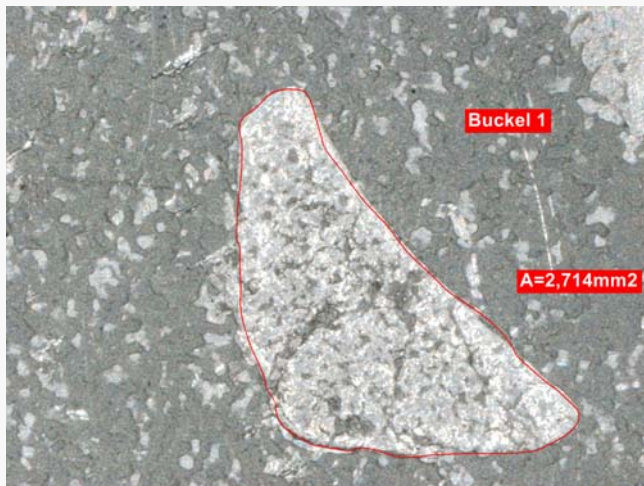
Buckelabdruck im Blech CP800



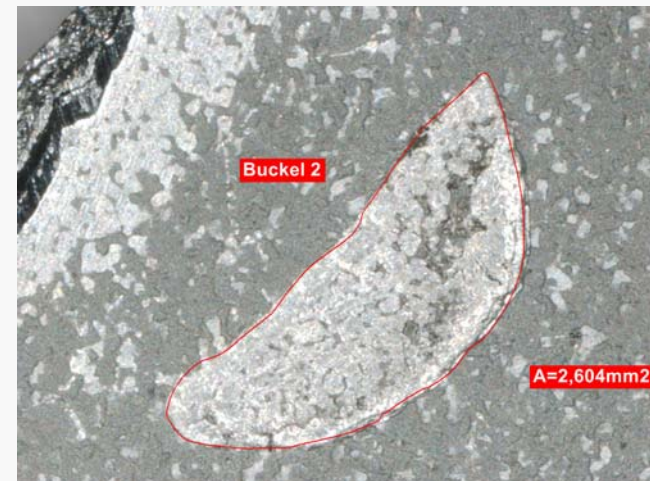
Buckel 4, $A = 2,33 \text{ mm}^2$ (86%)



Buckel 3, $A = 1,89 \text{ mm}^2$ (69%)



Buckel 1, $A = 2,71 \text{ mm}^2$ (100%)



Buckel 2, $A = 2,60 \text{ mm}^2$ (96%)

Buckelabdruck im Blech DC04

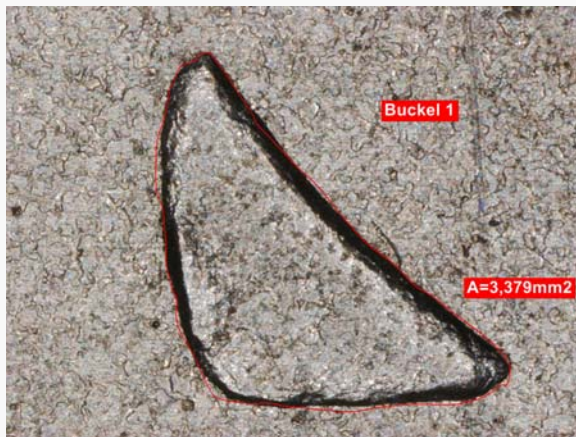


Buckelunregelmäßigkeiten werden besser ausgeglichen !

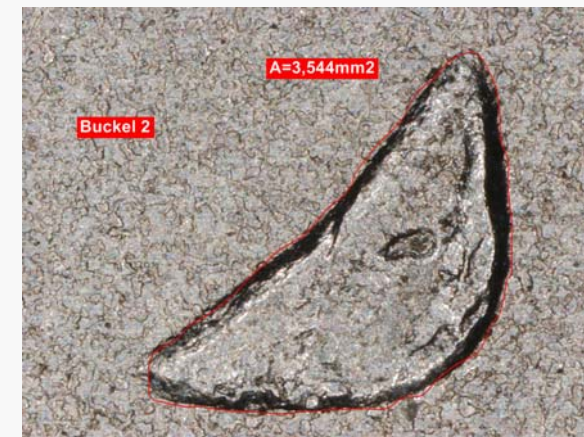
Buckel 4, $A = 3,19 \text{ mm}^2$ (90%)



Buckel , $A = 2,74 \text{ mm}^2$ (77%)

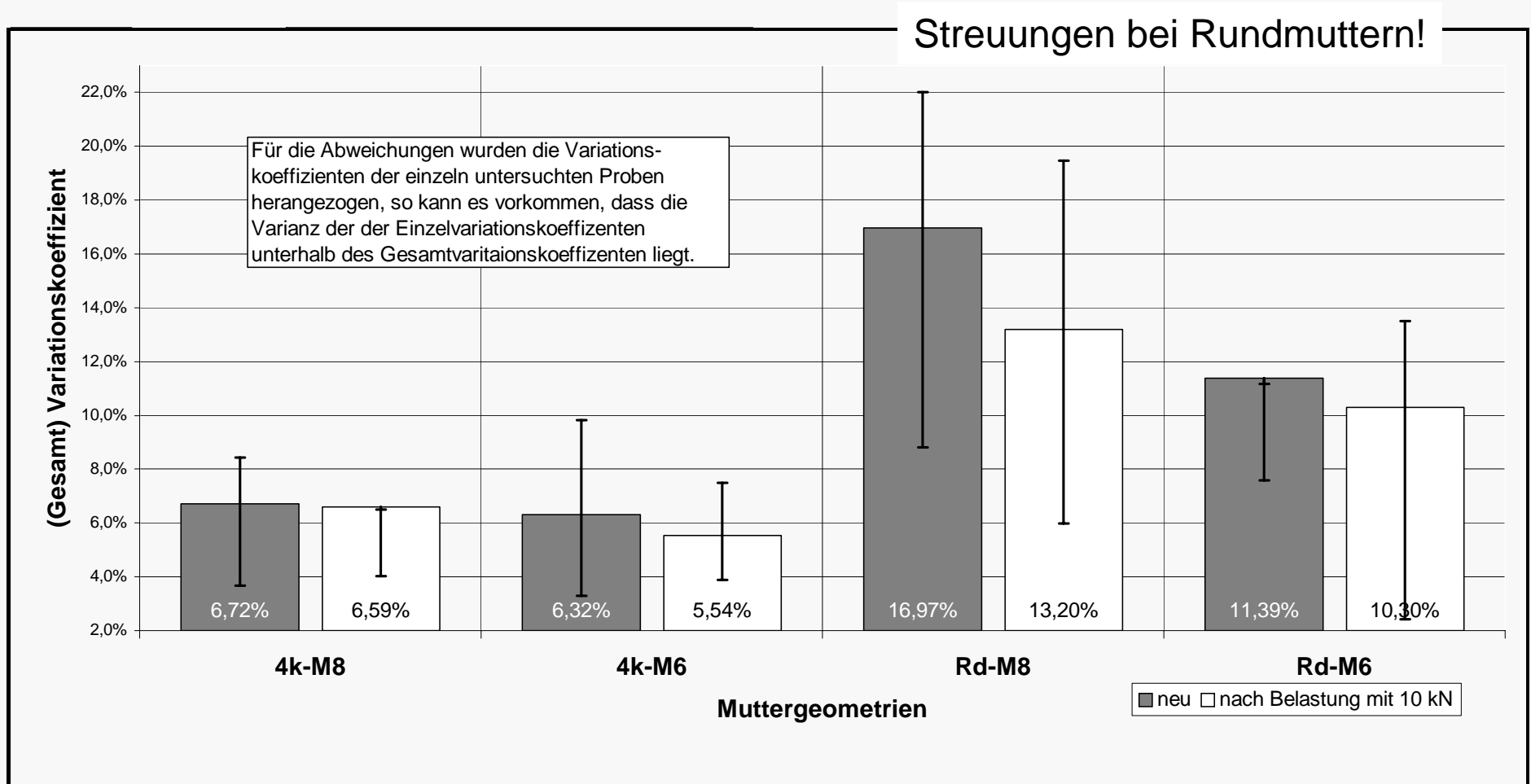


Buckel 1, $A = 3,37 \text{ mm}^2$ (95%)

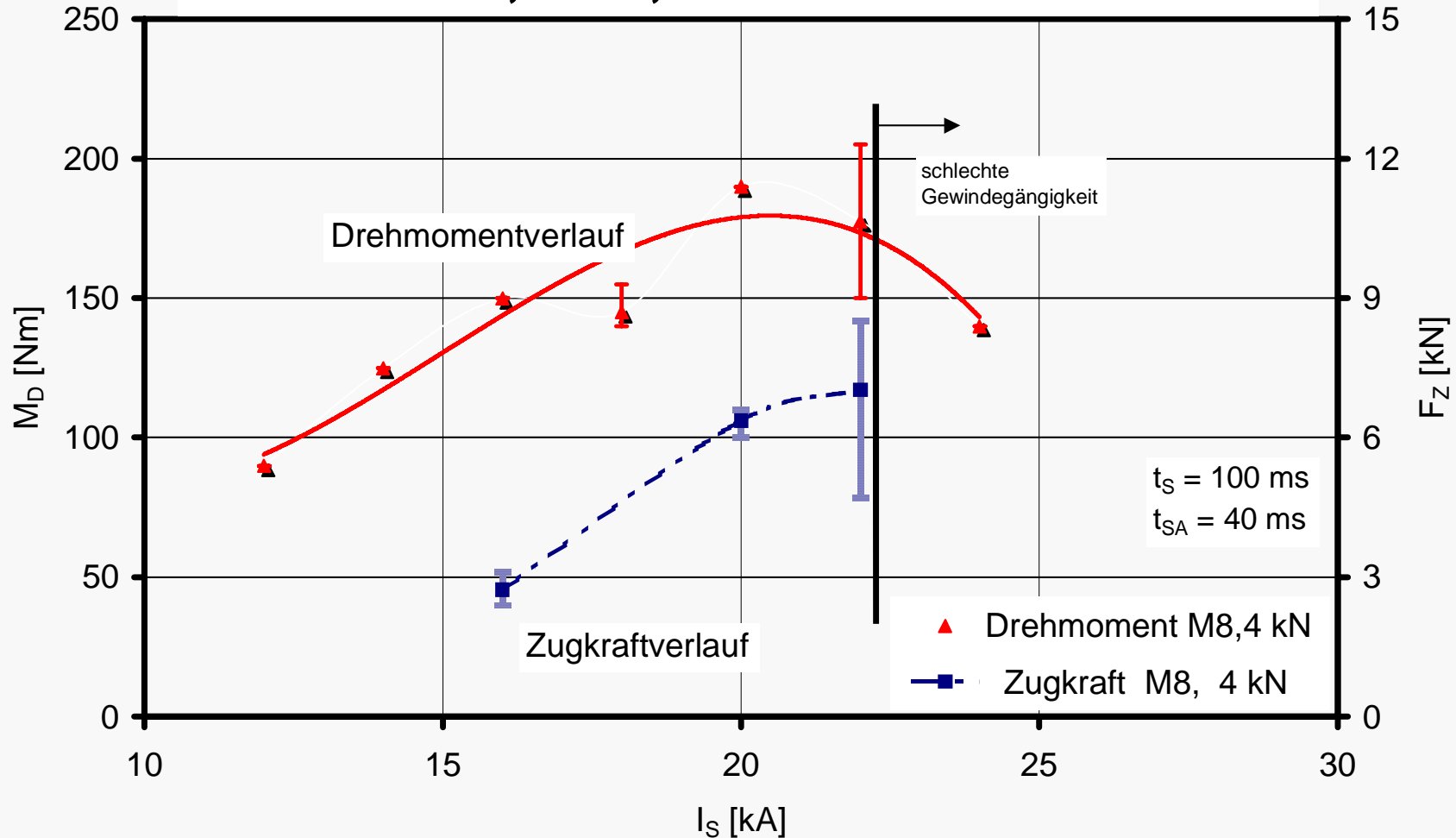


Buckel 2, $A = 3,54 \text{ mm}^2$ (100%)

Buckelaufstandsflächenänderung der Rund und 4-kant Muttern

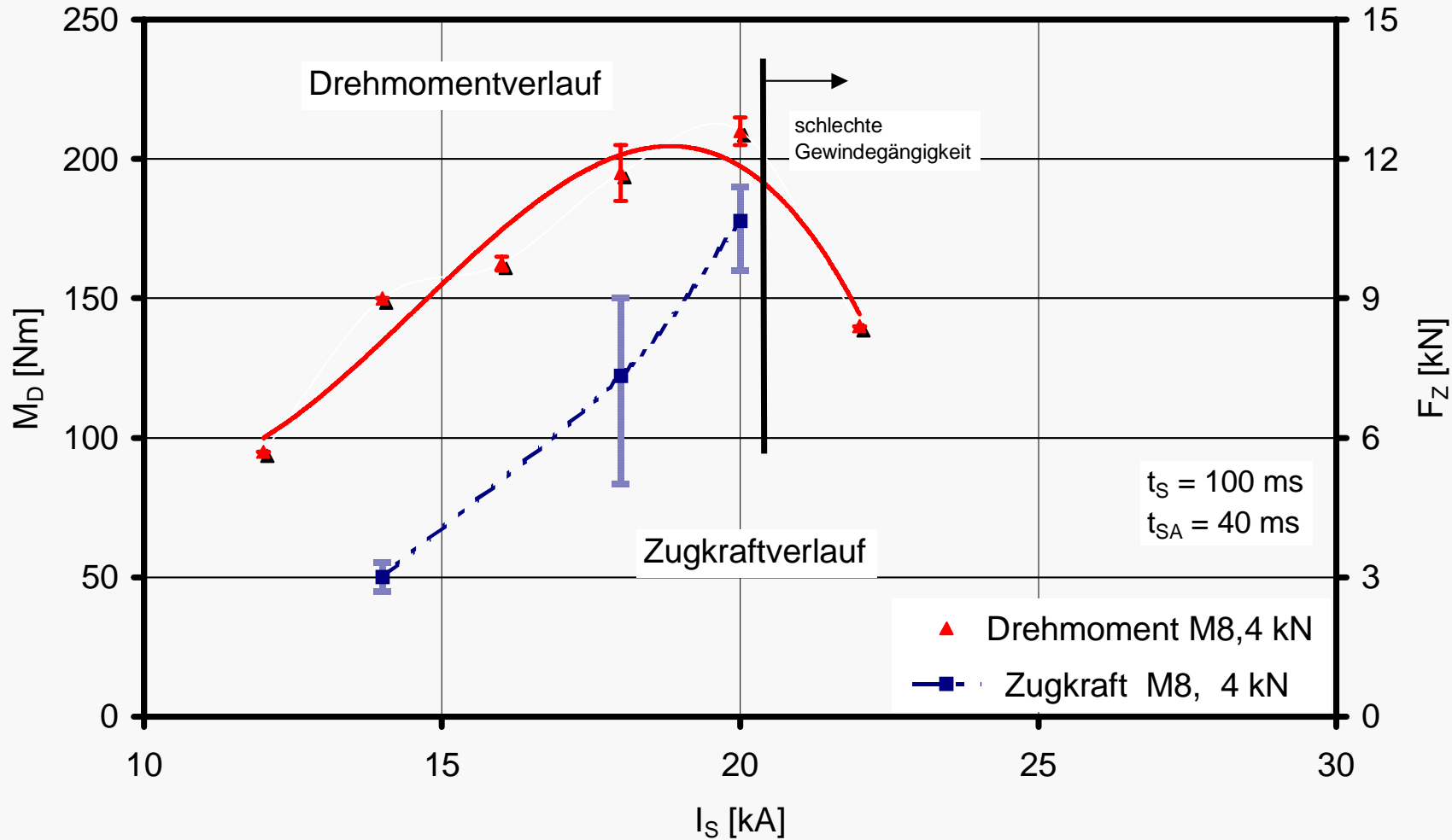


H420LAD+Z, t = 1,5 mm Mutter M8 4-kant



Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen

CP800, $t = 1,8$ mm, Mutter: M8 4-kant



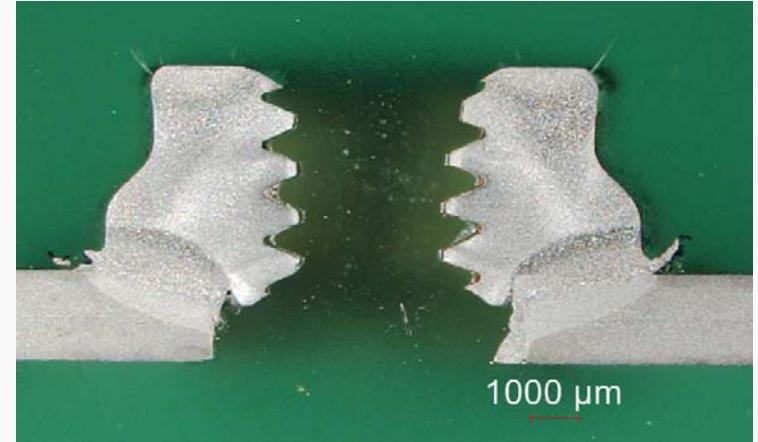
MF - Schweißen

Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen

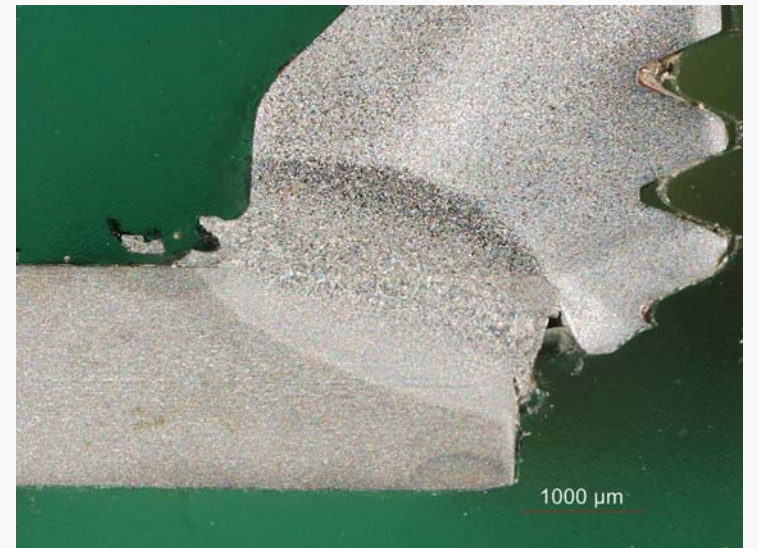


**RdM6 /
CP800**

$F_{EL} = 4,0 \text{ kN}$
 $t_S = 40 \text{ ms}$
 $I_S = 22 \text{ kA}$



Zugversuch
 $F_Z = 8,8 \text{ kN}$
Bruchlage
SZ



MF - Schweißen

CP800, Limbach Mutter M8

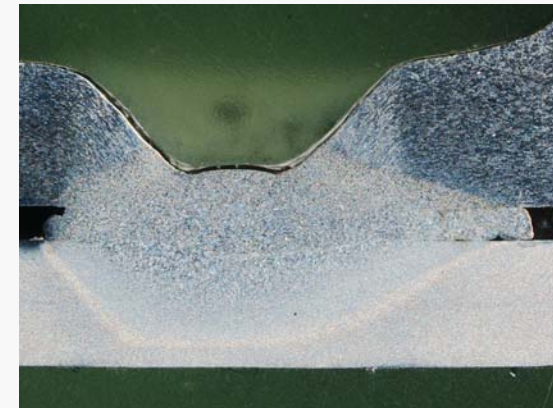


$F_{EL} = 4,0 \text{ kN}$
 $t_S = 80 \text{ ms}$
 $I_S = 20 \text{ kA}$

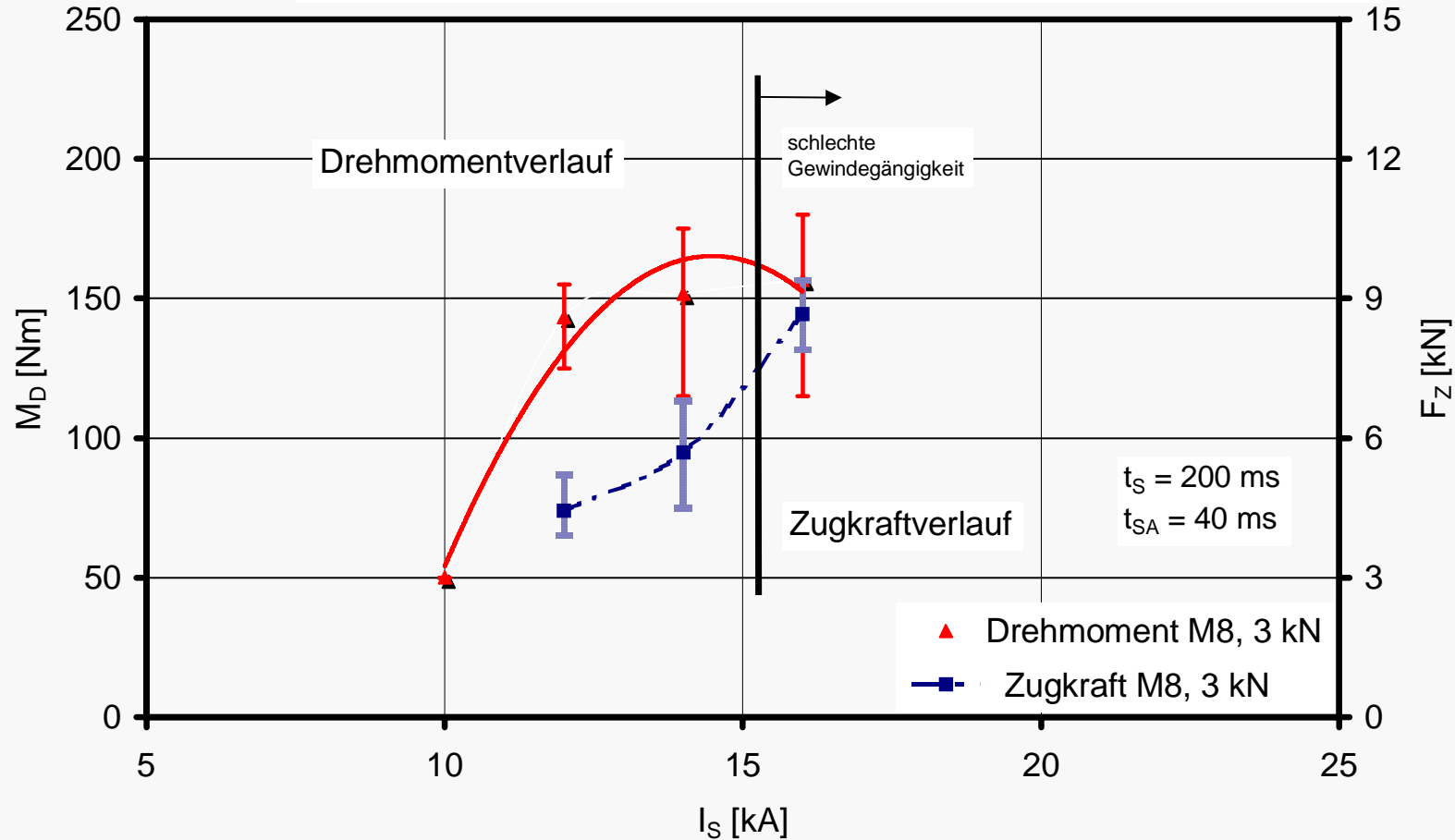


Zugversuch
Bruchlage: Bu

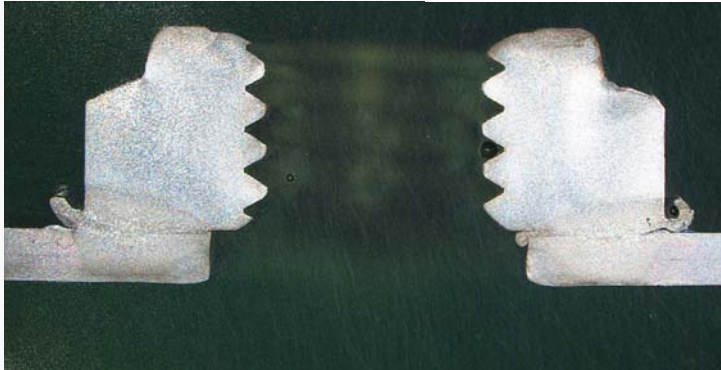
$F_z = 12,2 \text{ kN}$
 $V_k = 12\%$



TRIP 700, 1,6 mm, Mutter M8 4-kant



TRIP 700, Mutter M8 4-kant



$F_{EL} = 4,0 \text{ kN}$
 $t_S = 100 \text{ ms}$
 $I_S = 22 \text{ kA}$



Zugversuch

$F_Z = 6,9 \text{ kN}$

Bruchlage

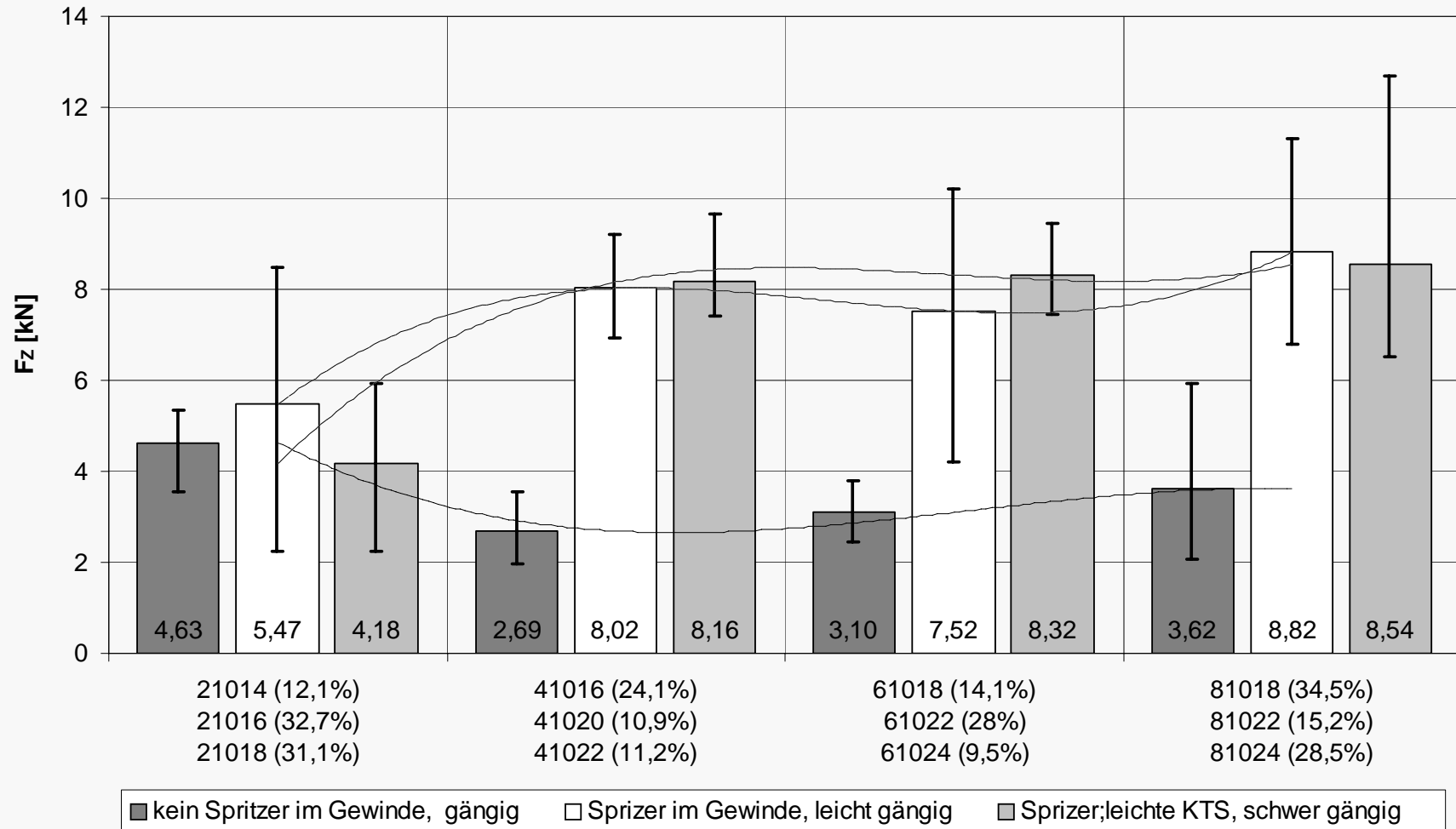
Mb

Drehmoment

90 - 190 Nm (+/- 30)

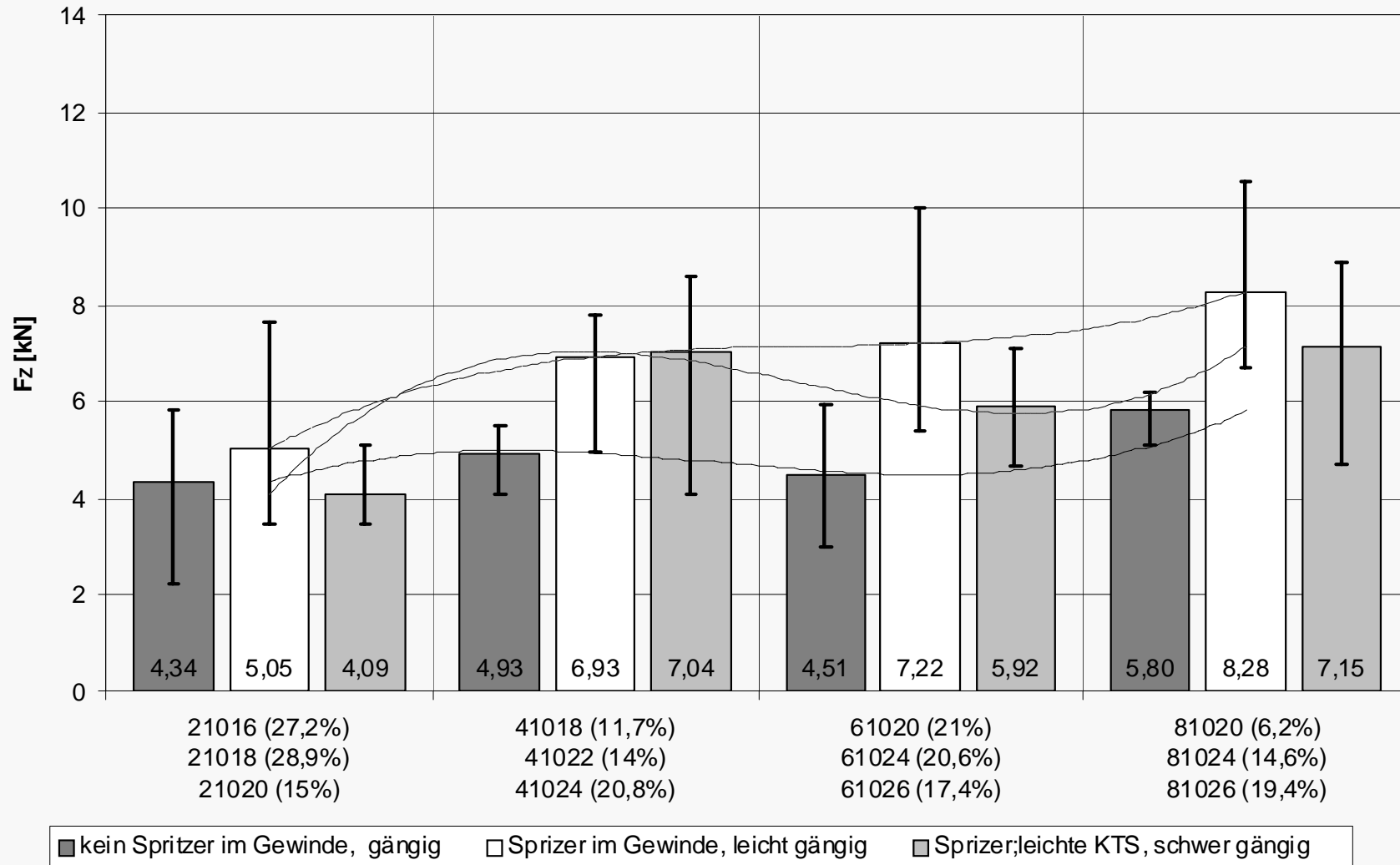
MF - Schweißen

Kopfzugkräfte Blechwerkstoff CP800, Mutter RdM8

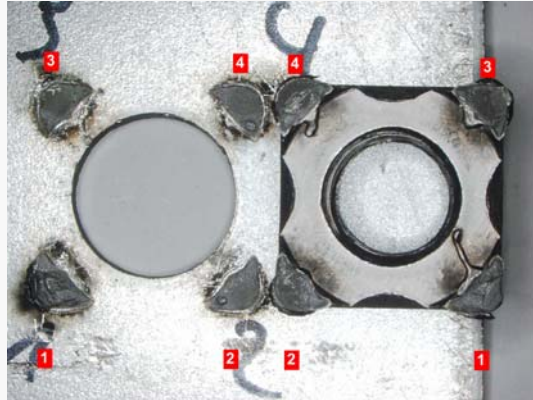


MF - Schweißen

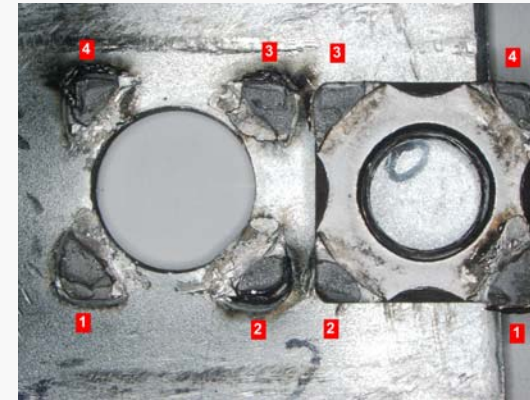
Kopfzugkräfte Blechwerkstoff TRIP700, Mutter 4kM8



Einfluß der Stromzeit auf die Verbindungsbildung

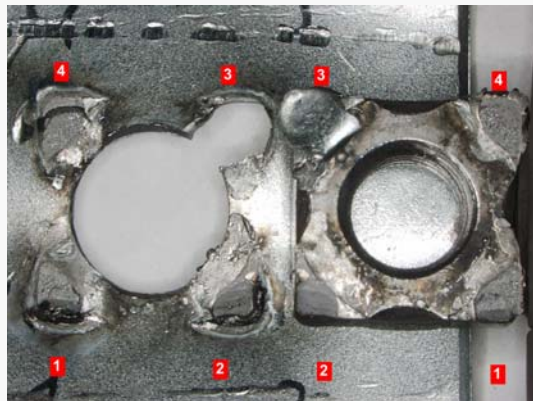


20 ms



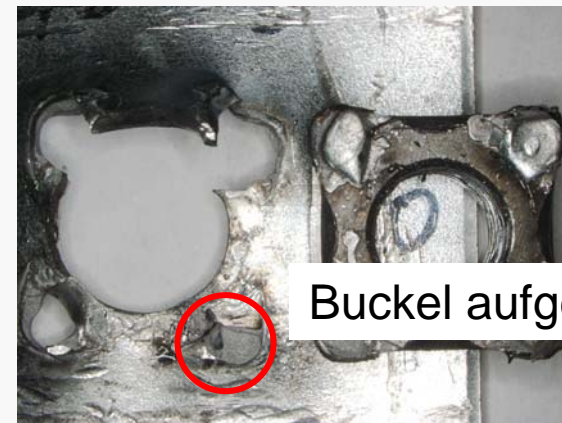
30 ms

$I_S = 24 \text{ kA}$,
 $F_E = 6 \text{ kN}$



35 ms

vermutlich Optimum

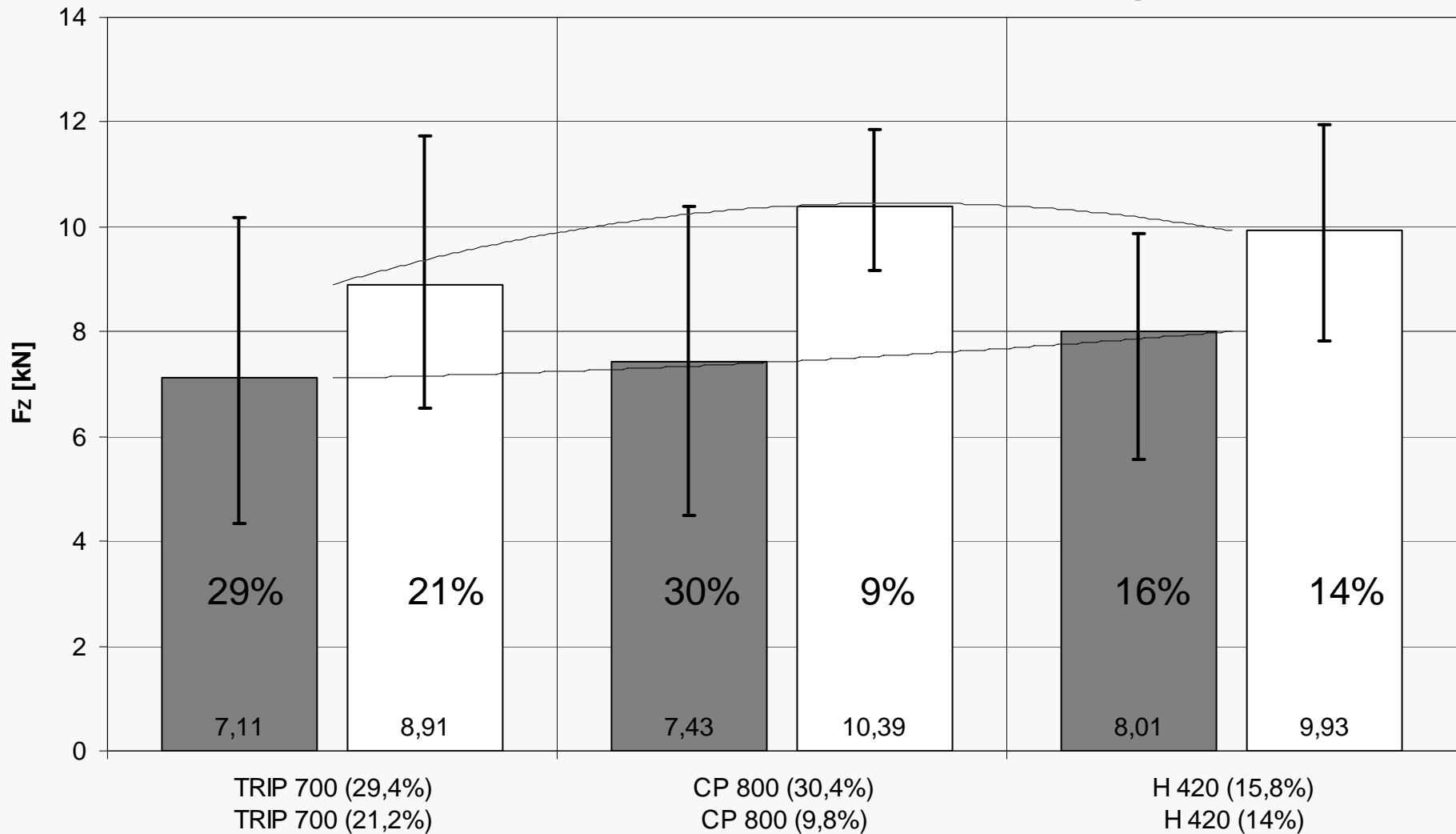


40 ms

Buckel aufgelöst !

MF - Schweißen

Einfluß der Stromzeit auf die Kopfzugkräfte

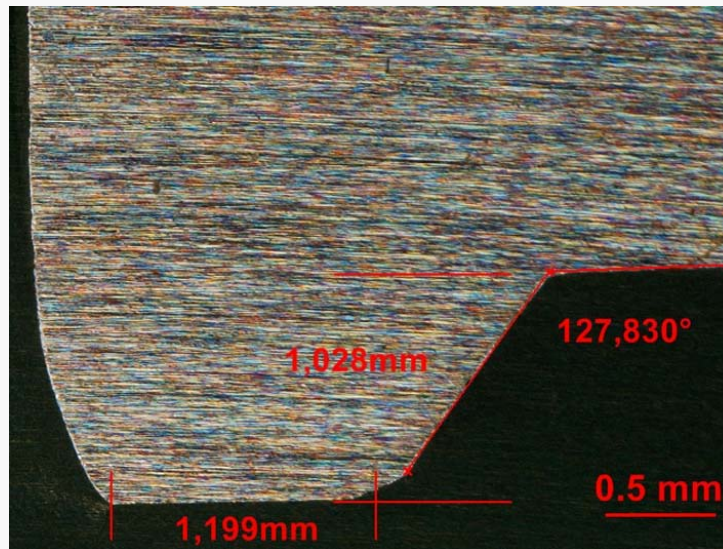


MF - Schweißen

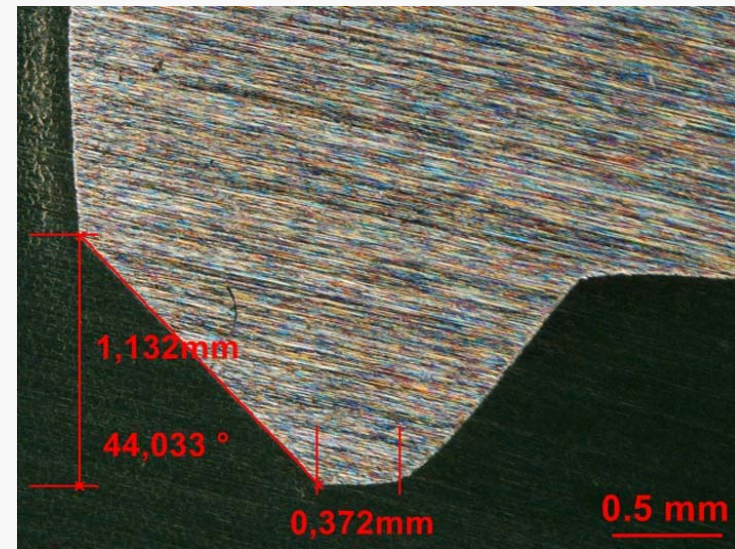
■ Stromzeit 60 ms □ Stromzeit 35 ms

Optimierung der Buckelgeometrie

Detail
Alte Buckelgeometrie 4kM8



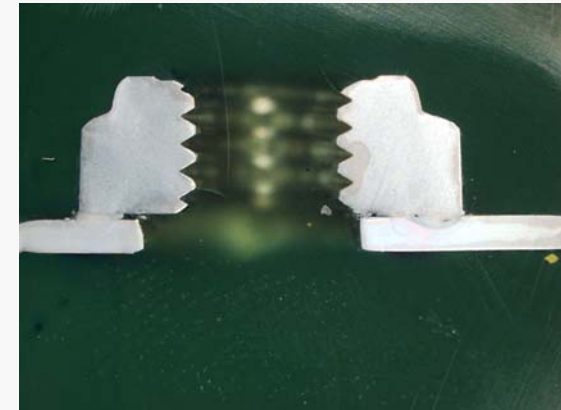
Detail
Neue Buckelgeometrie 4kM8



Neue Buckelgeometrie TRIP800 / 4kM8



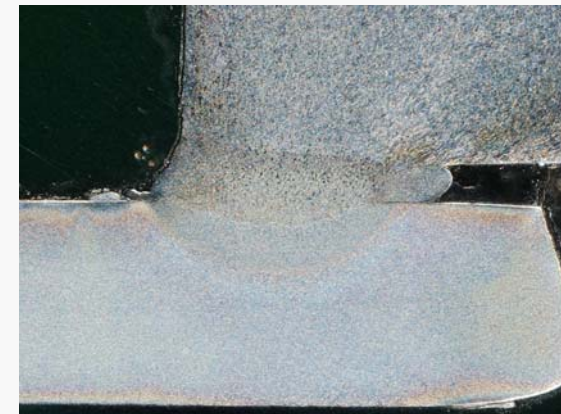
$F_{EL} = 3,0 \text{ kN}$
 $t_S = 20 \text{ ms}$
 $I_S = 21 \text{ kA}$



Zugversuch
Bruchlage: BI / Bu

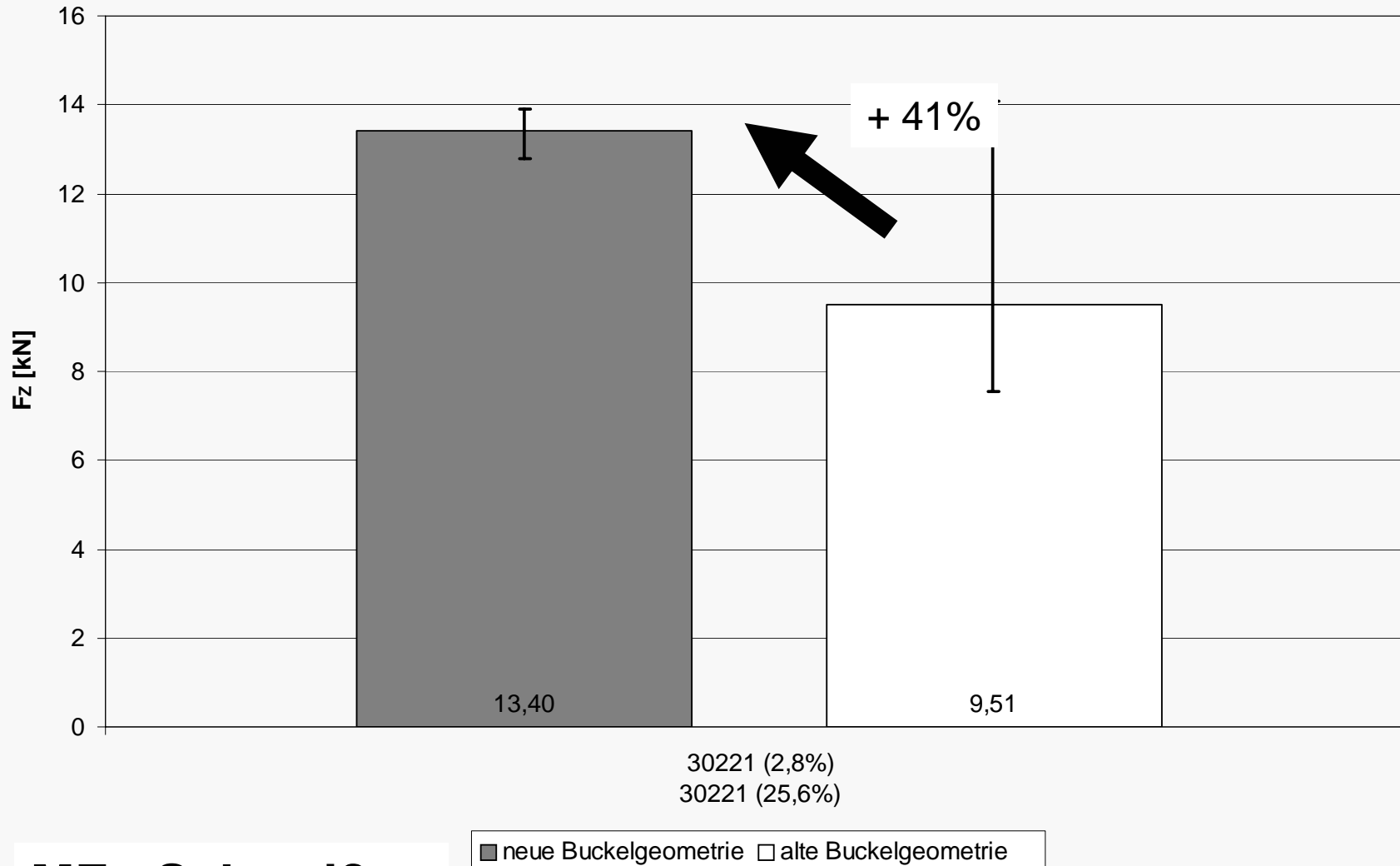
$F_z = 13,4 \text{ kN}$
 $V_k = 3 \%$

Geringer
Variationskoeffizient

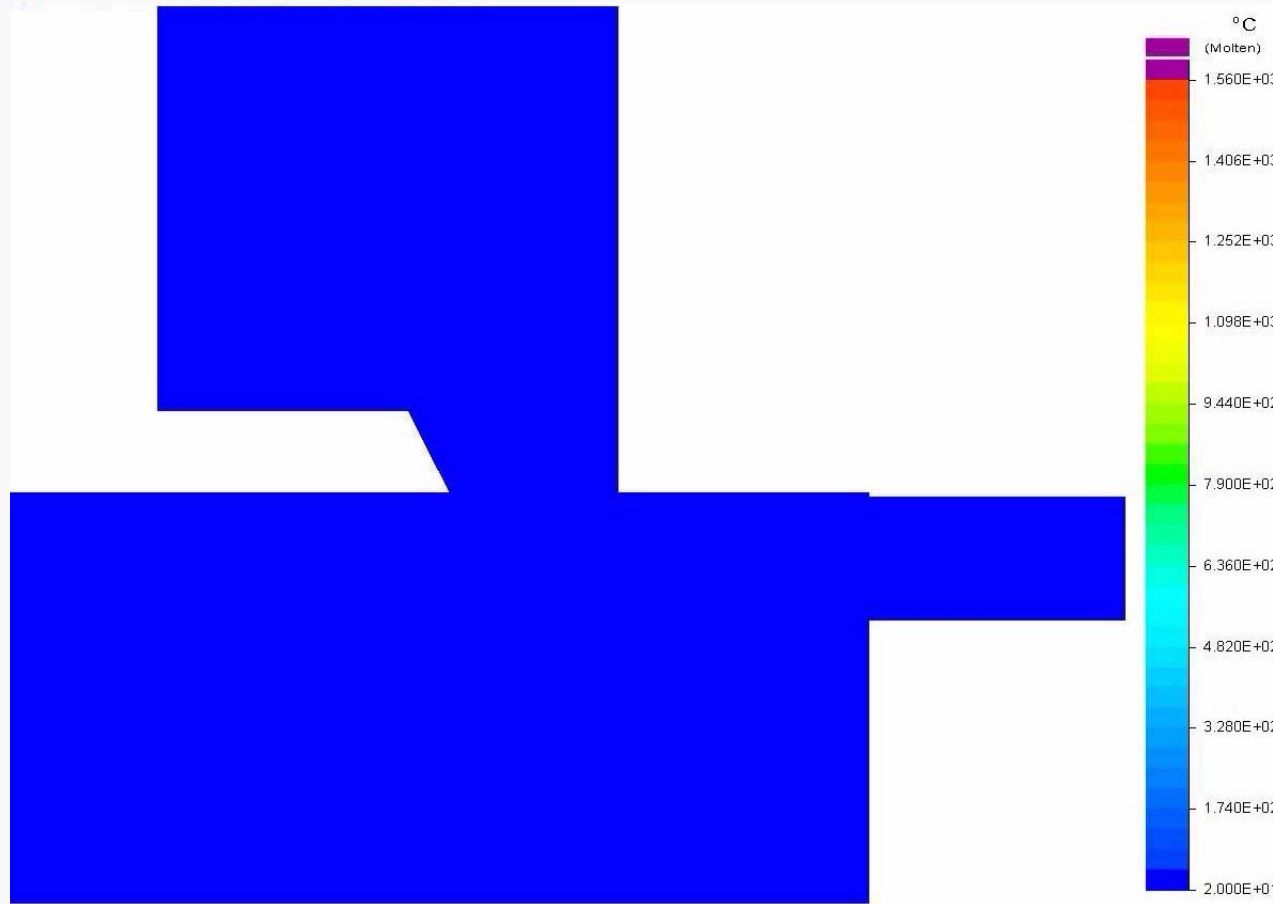


MF - Schweißen

Vergleich der Kopfzugkräfte TRIP800 - 4kM8



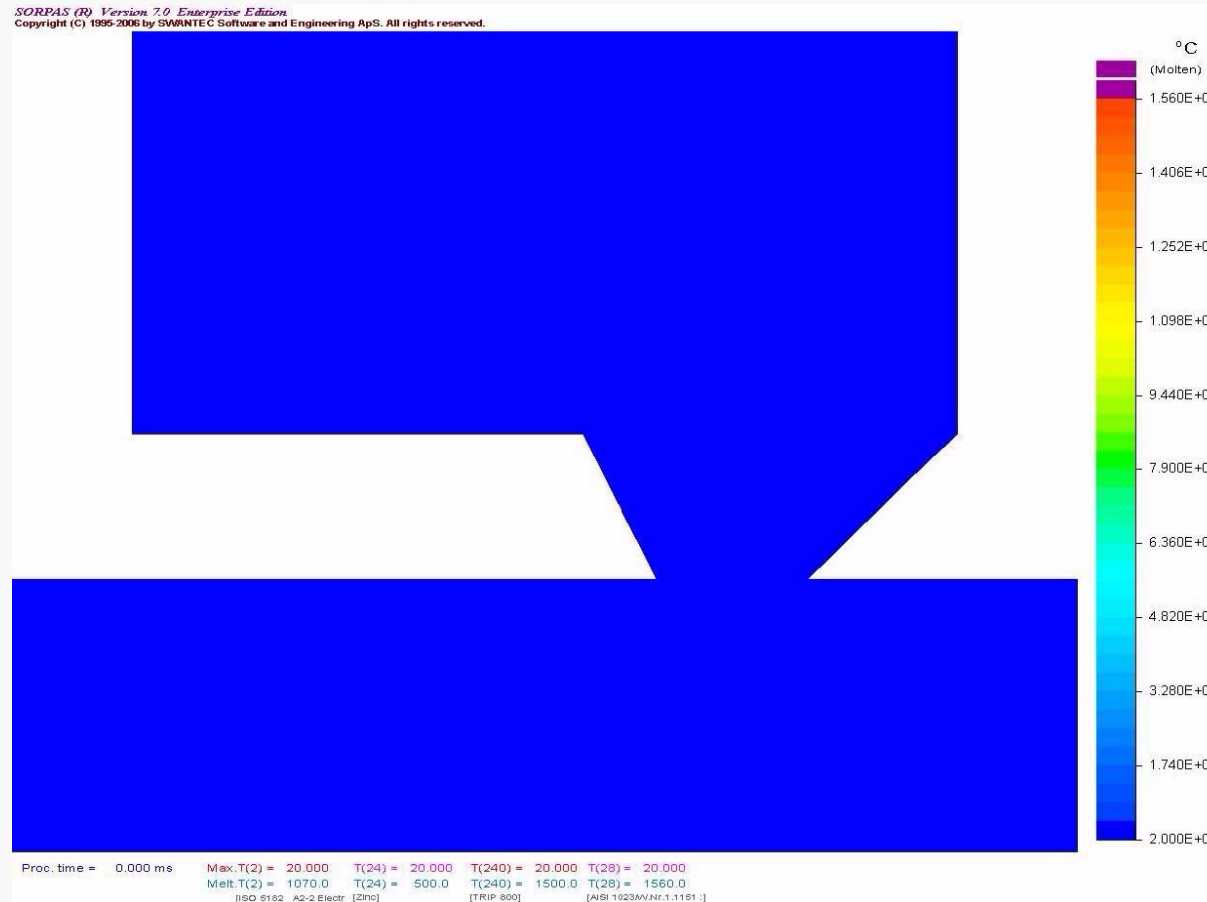
Simulation des Schweißprozesses



Alte Geometrie

MF - Schweißen

Simulation des Schweißprozesses



Neue Geometrie
MF - Schweißen

2. neue Mutterngeometrie



MF

RdM8 / TRIP800

$F_{EL} = 3,0 \text{ kN}$

$t_S = 20 \text{ ms}$

$I_S = 25 \text{ kA}$

Buckelhöhe 1,0 mm

Winkel wie Ausgangssituation

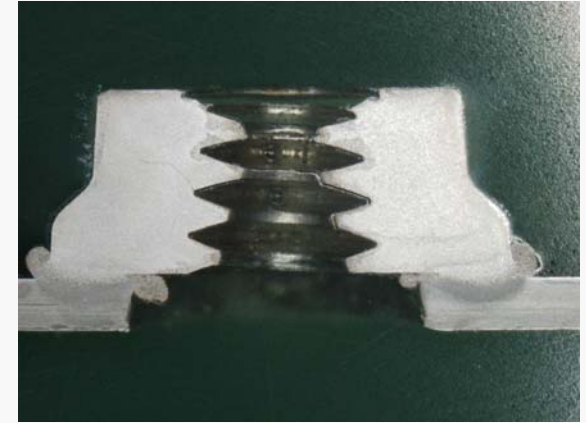
Spritzerschutz abgedreht

Zugversuch

Bruchlage: Buckel

$F_z = 16,5 \text{ kN}$

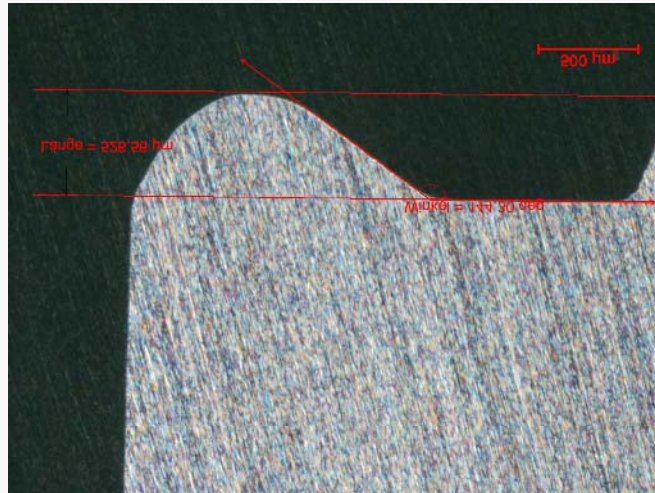
$V_k = 7,5 \%$



Auch für Rundmuttern ergeben neue Geometrien deutlich höhere Zugkräfte

Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen

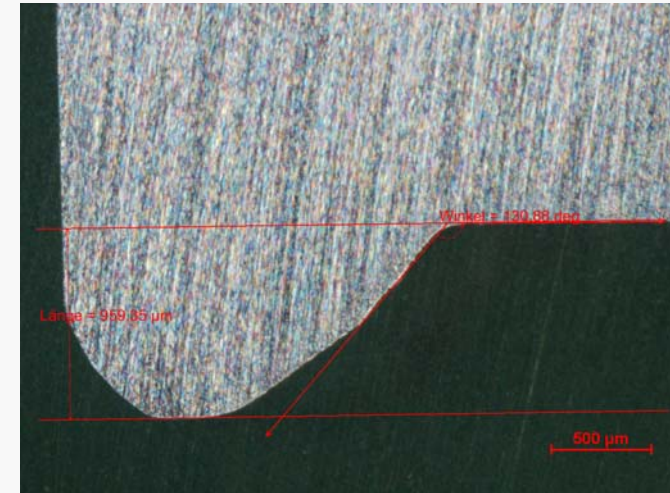
Alte Rundmutter



Höhe: 0,5 mm
Winkel: 36°



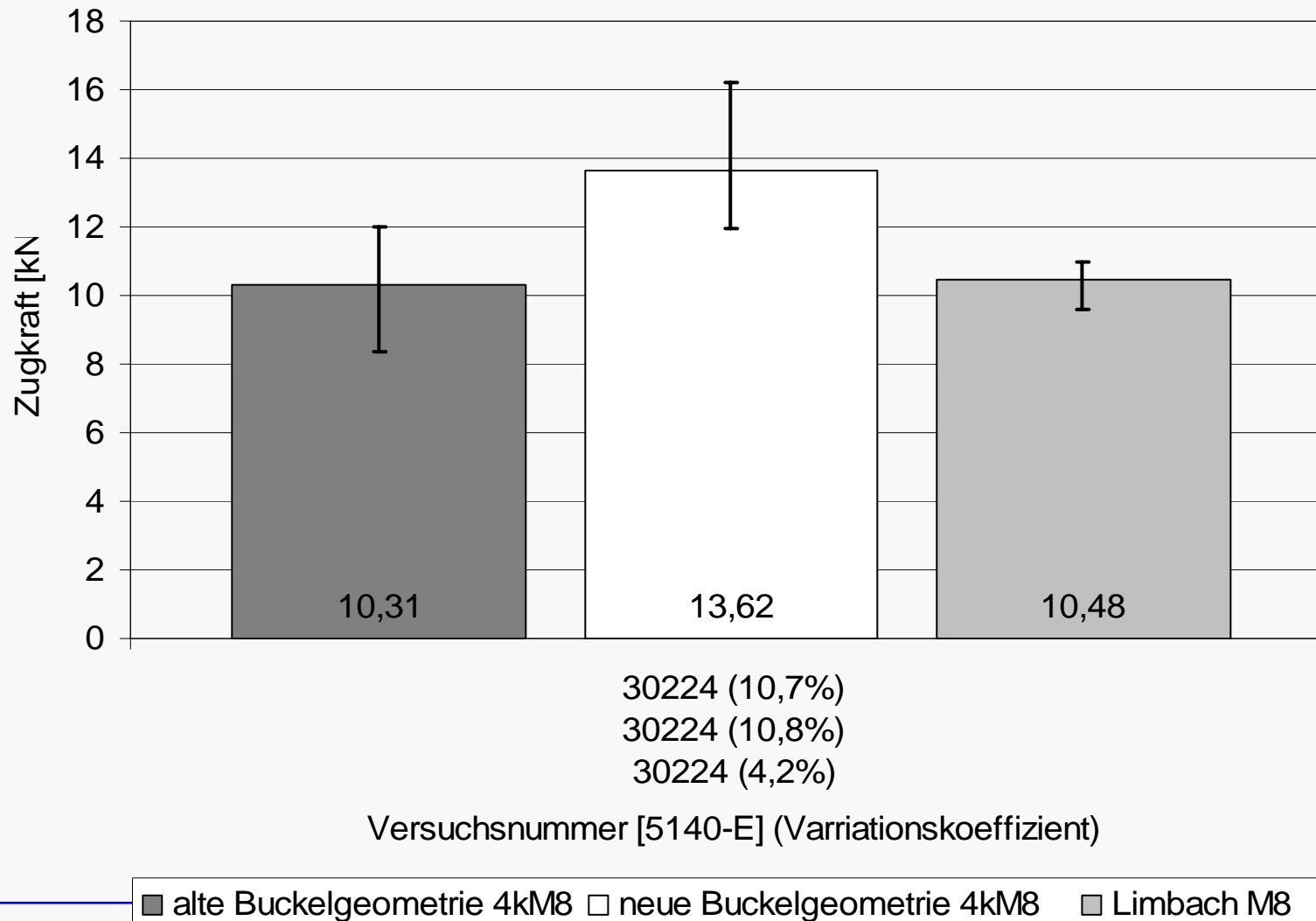
Neue Rundmutter



Höhe: 1,0 mm
Winkel: ca. 50°



Vergleich der Schweißmuttern auf 22MnB5



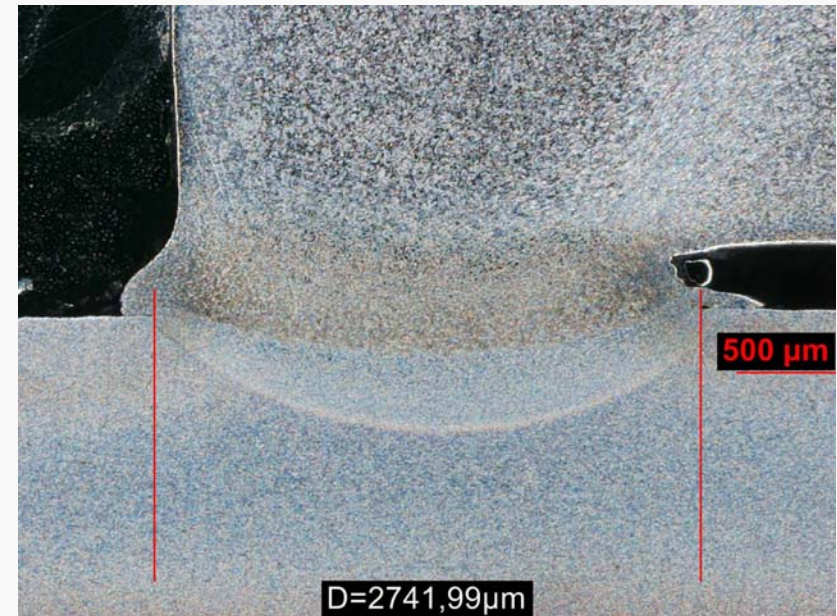


CD- Schweißen 4kM8 / CP800

$$F_{EL} = 6,0 \text{ kN}$$

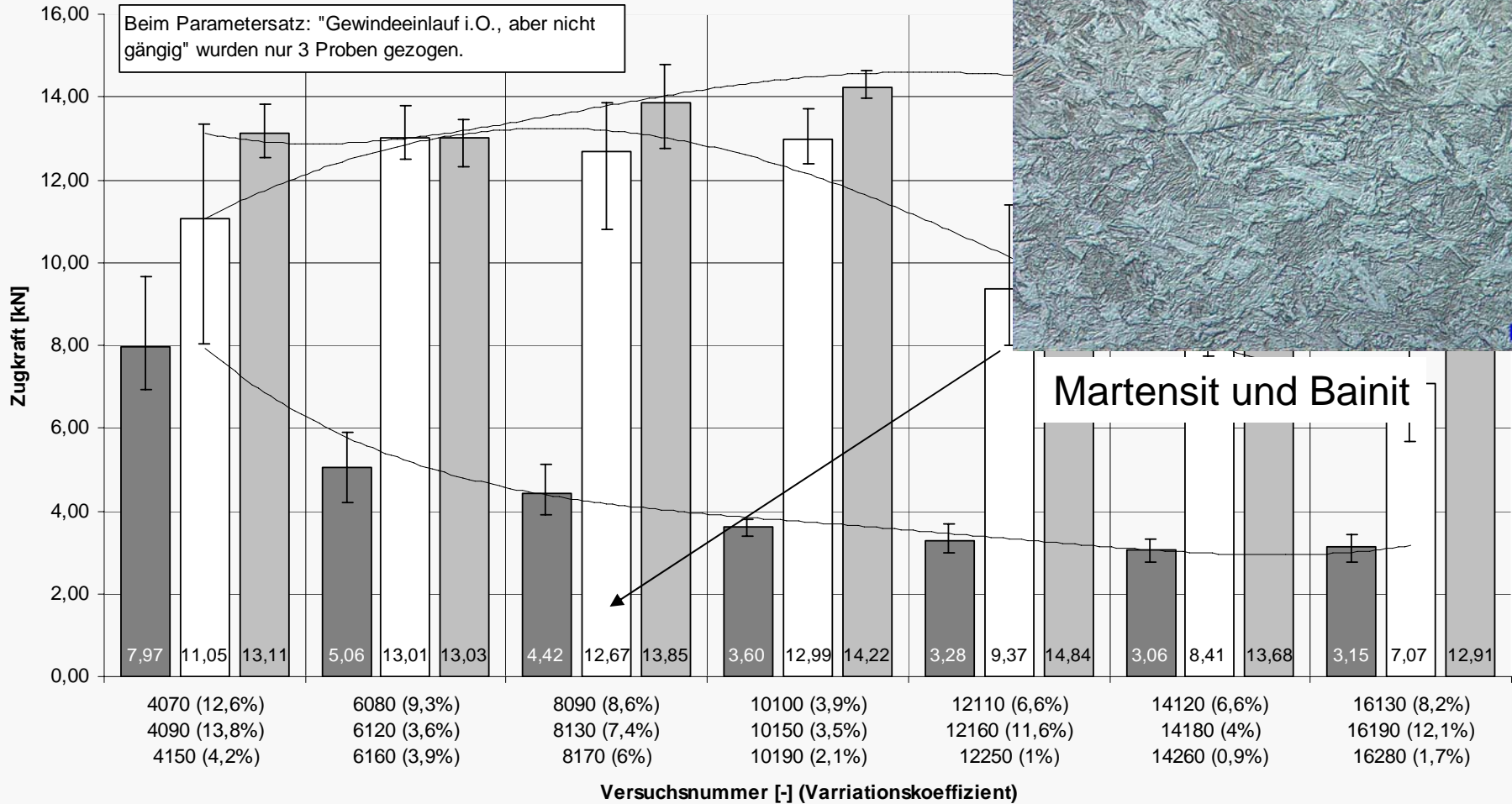
$$W_S = 1200 \text{ J (ca 31,5kA)}$$

$$t_s = 13,5 \text{ ms}$$



Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen

Kopfzugkräfte Blechwerkstoff CP800, Mutter 4kM8

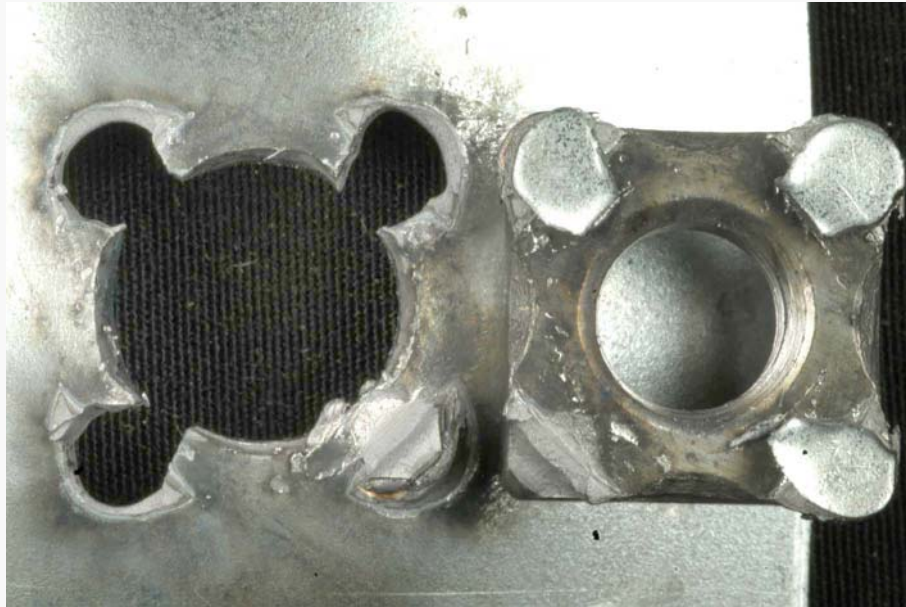


Martensit und Bainit

25 µm

■ kein Spritzer im Gewinde, leicht gängig □ Spritzer im Gewinde, aber noch gängig ▨ Gewindeeinlauf i.O., aber nicht gängig

Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen



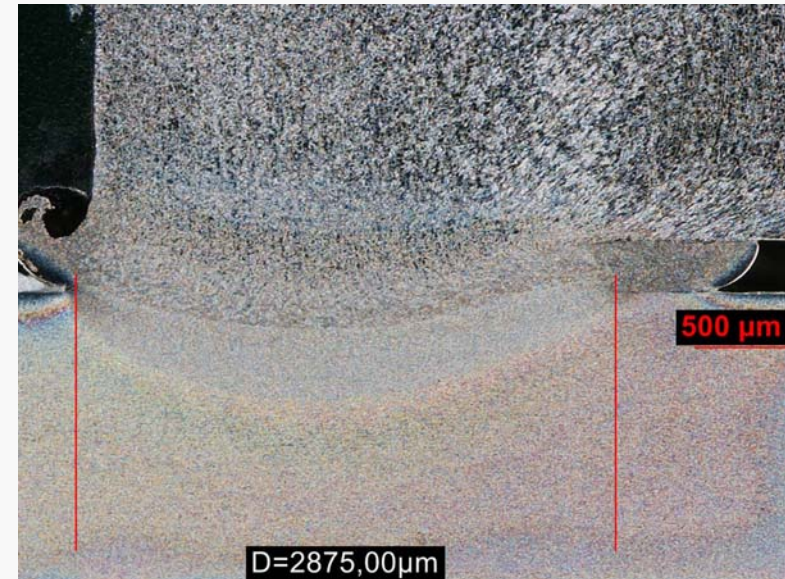
4kM8 /

Trip 700

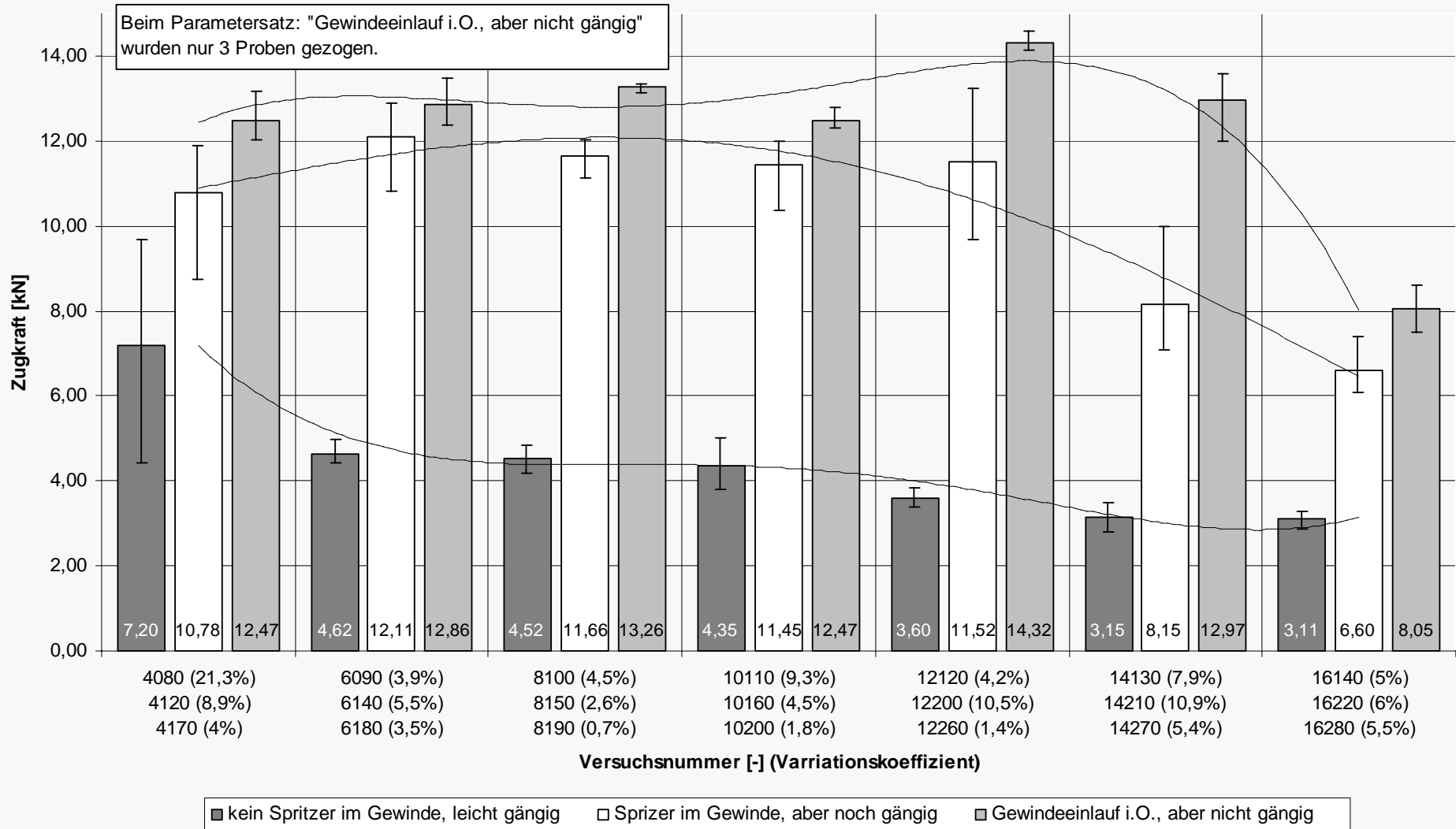
$F_{EL} = 6,0 \text{ kN}$

$W_S = 1400 \text{ J (ca 33,9 kA)}$

$t_S = 13,3 \text{ ms}$



Kopfzugkräfte Blechwerkstoff TRIP700, Mutter 4kM8

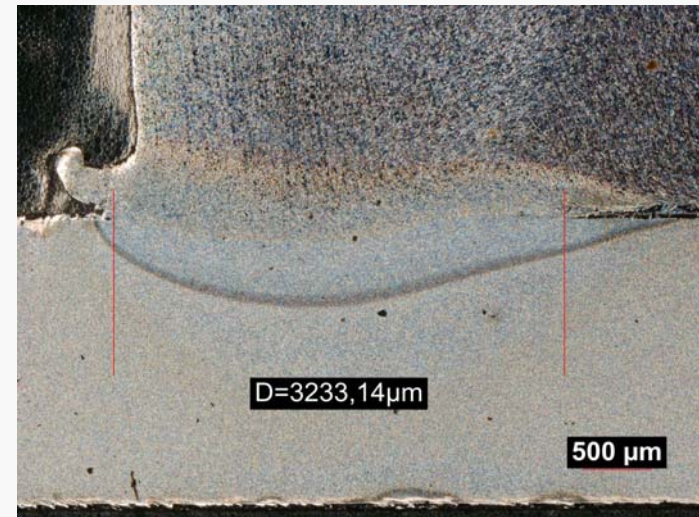
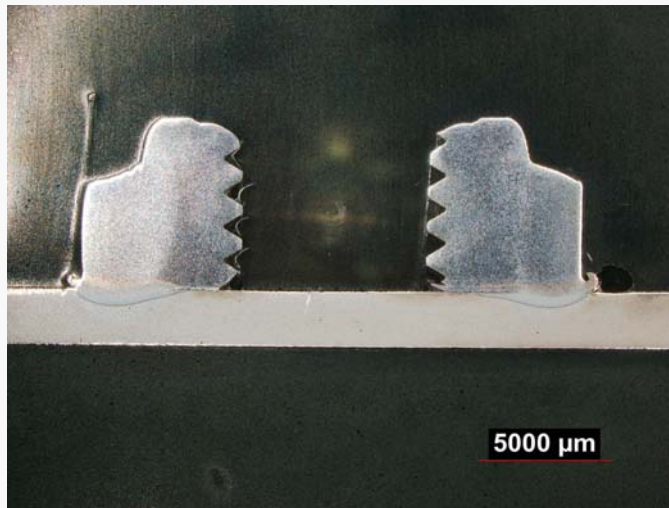


22MnB5 / 4kM8

$$F_{EL} = 6,0 \text{ kN}$$

$$W_S = 2000 \text{ Ws}$$

$$I_S = 40,4 \text{ kA}, t_S = 15 \text{ ms}$$

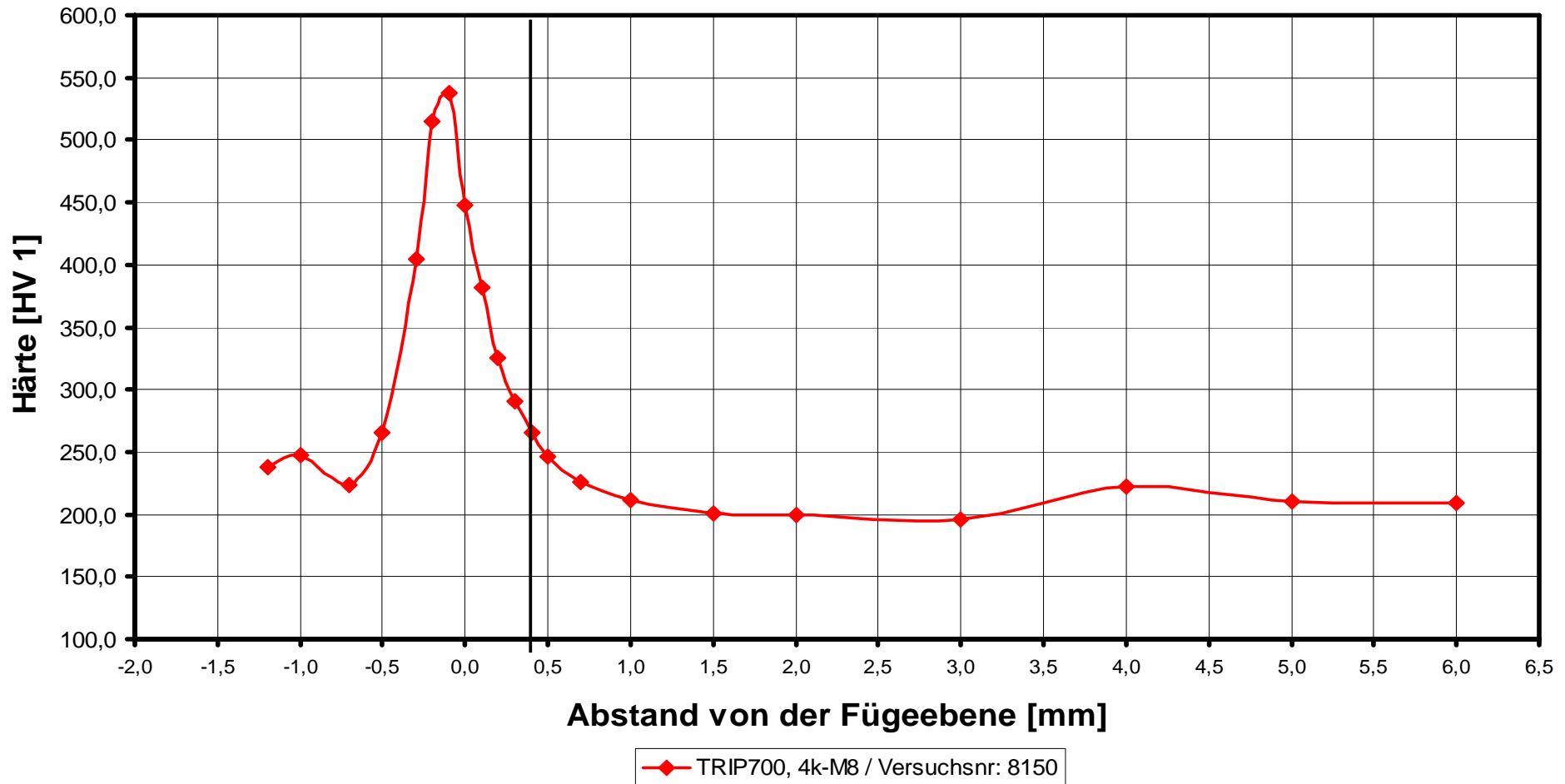


$$F_Z = 12 \text{ kN},$$

Variationskoeffizient: 5,5%

Bruchlage Buckel

Härteverlauf CD- Schweißung 4kM8 auf TRIP700



Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen

Schweißparameter

$F_{EL} = 6,0 \text{ kN}$

$t_S = 100 \text{ ms}$

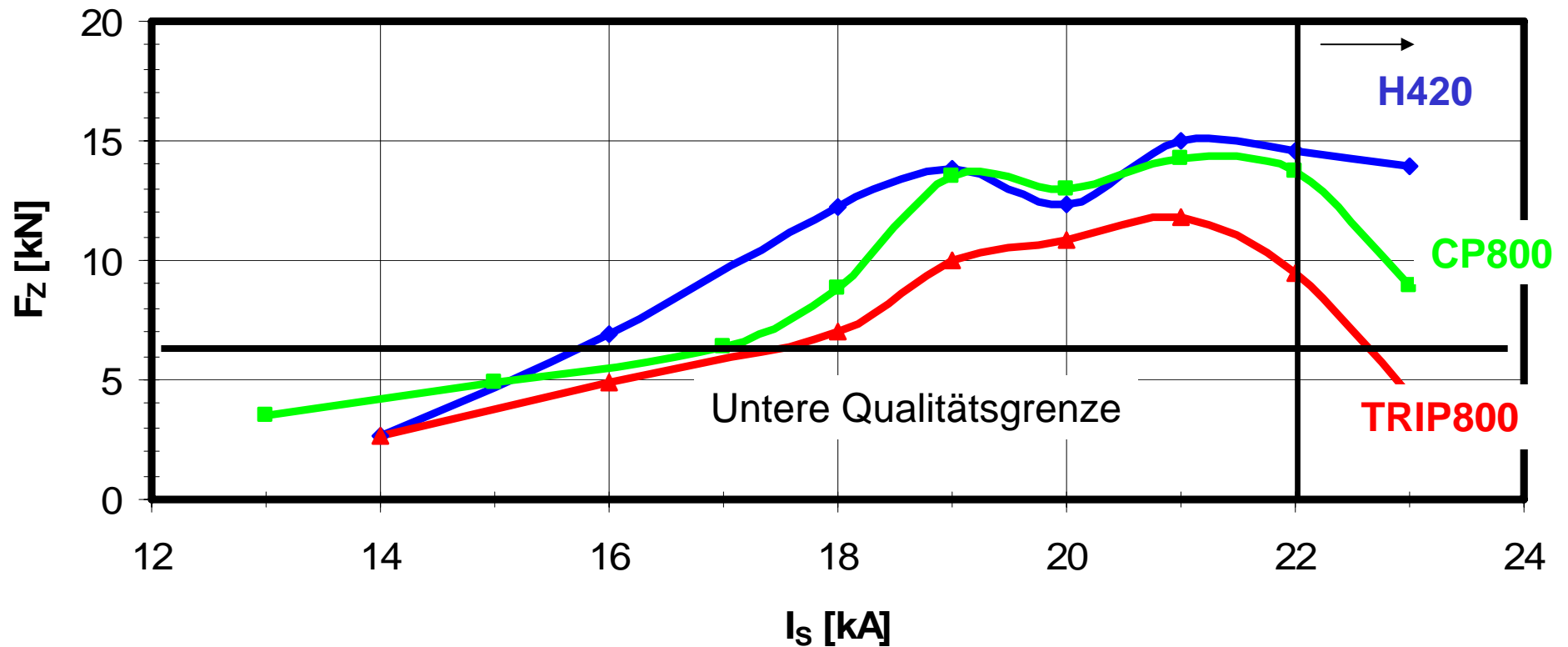
$t_{SA} = 40 \text{ ms}$

$I_S = \text{variabel}$

Schweißbereiche

AC-Schweißen 4kM-M8

Gewinde nicht
gängig



Schweißparameter

$F_{EL} = 6,0 \text{ kN}$

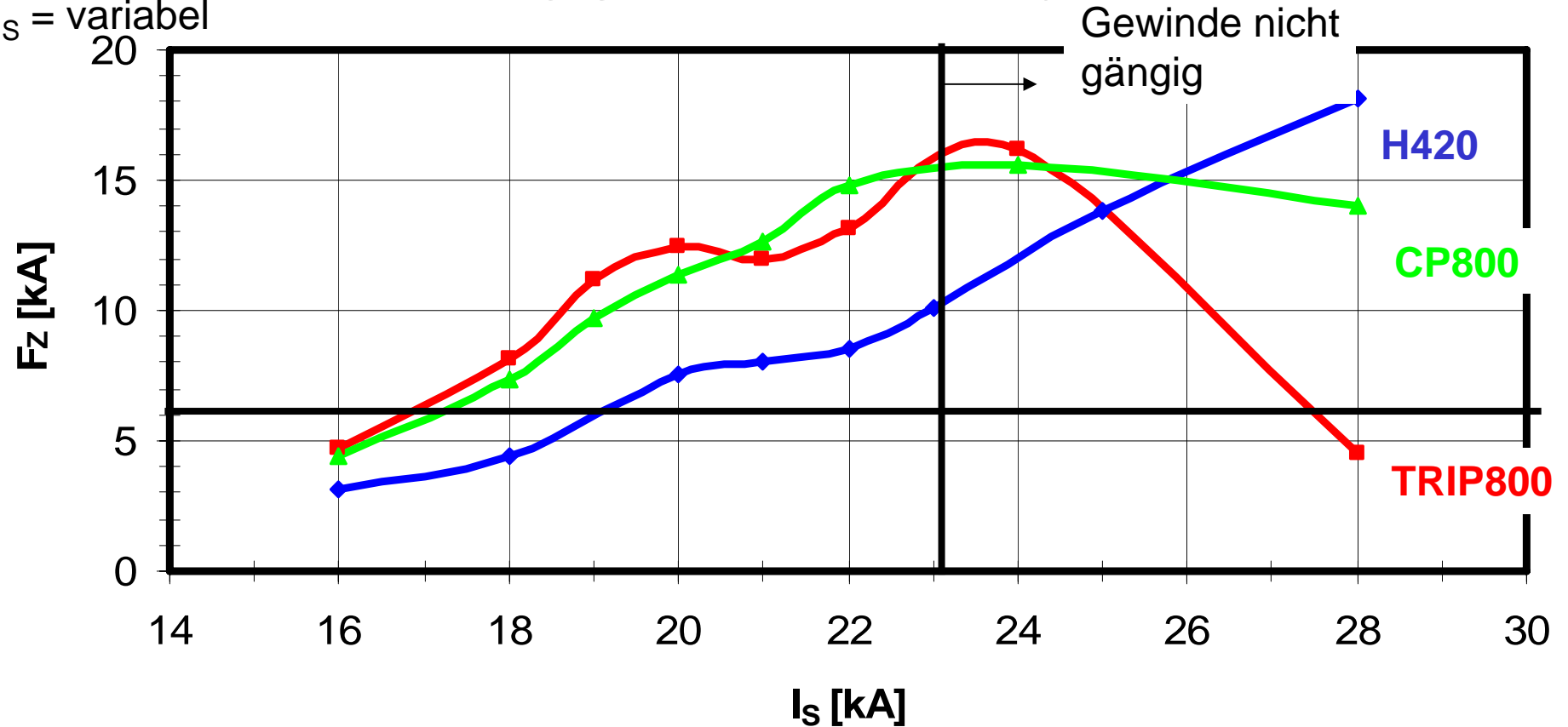
$t_S = 100 \text{ ms}$

$t_{SA} = 40 \text{ ms}$

$I_S = \text{variabel}$

Schweißbereiche

AC-Schweißen RdM-M8



Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen



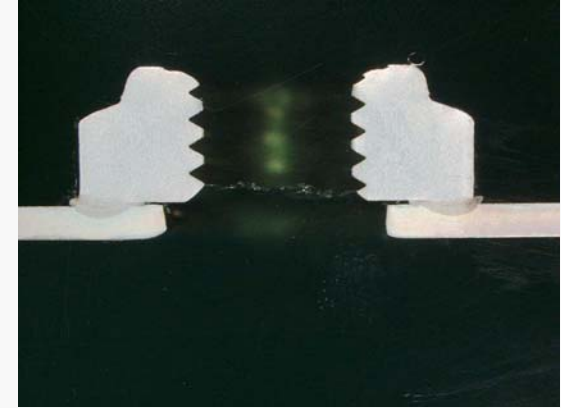
4kM8 / TRIP800

$F_{EL} = 6,0 \text{ kN}$

$t_S = 40 \text{ ms}$

$I_S = 20,7 \text{ kA}$

kurze Stromzeit



Zugversuch

Bruchlage: BI/Bu

$F_z = 11,8 \text{ kN}$

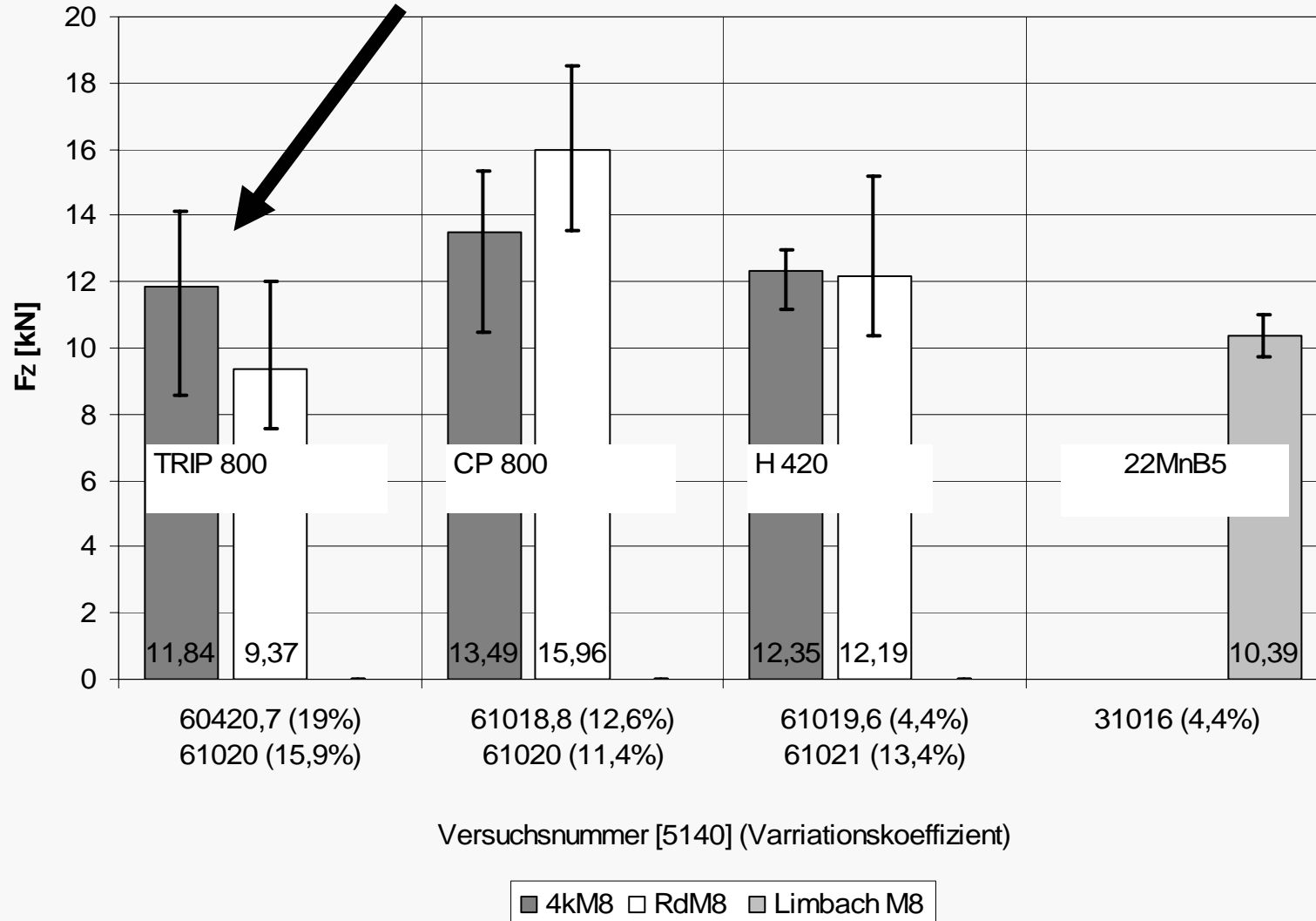
$V_k = 19\%$



AC - Schweißen

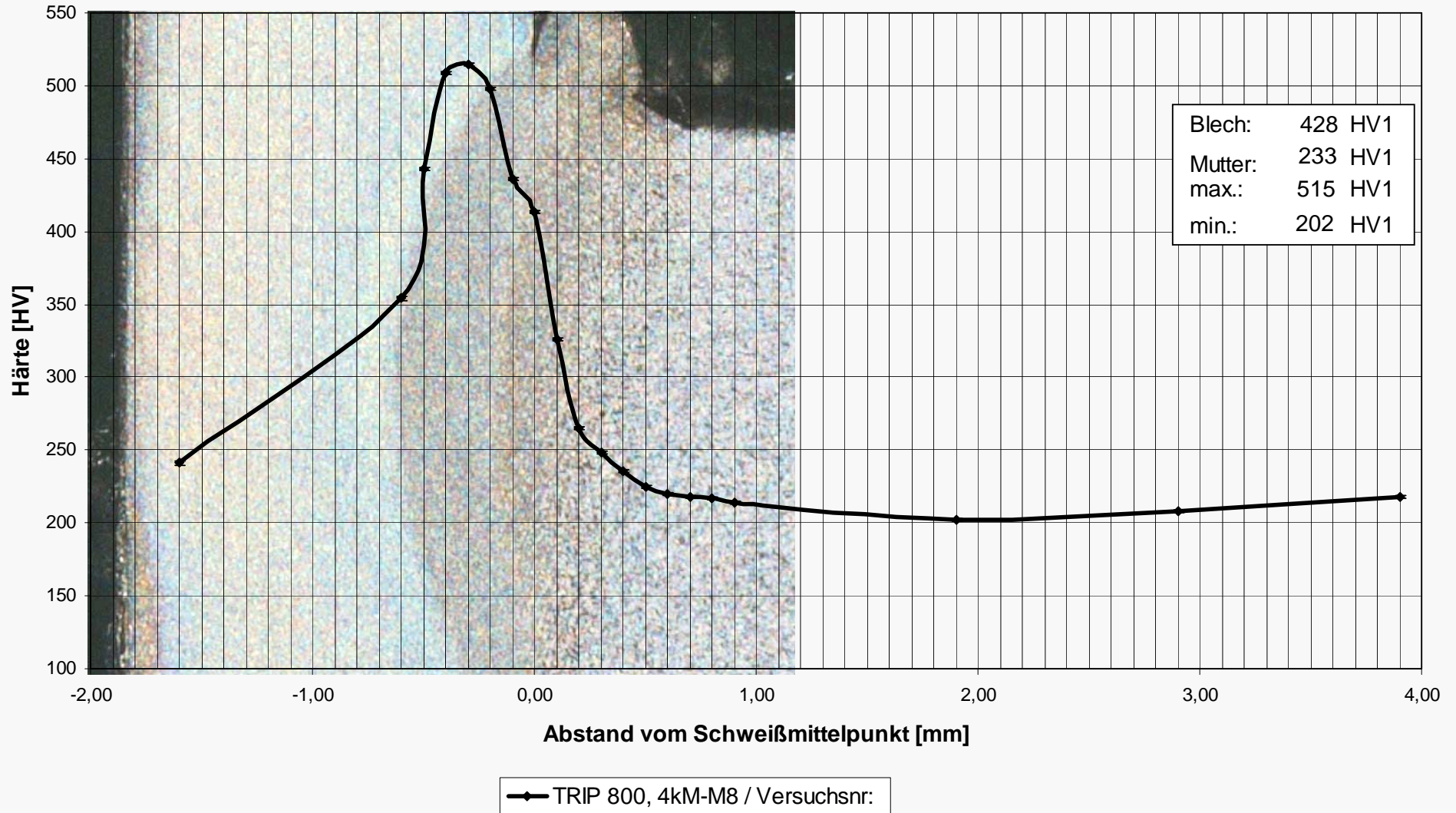
Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen

Kurze Stromzeiten !



AC - Schweißen

Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen



Seriennahe Erprobung der neuen Mutterngeometrie

4kM8 neu, Probenzahl 30

Statistik:	
Ø F [kN]	11,34
min [kN]:	10,03
max [kN]:	12,08
+	0,74
-	1,31
Standardabw.:	0,59
Varianz:	5,24%

H420 LAD
1,6mm

Statistik:	
Ø F [kN]	8,30
min [kN]:	7,48
max [kN]:	8,78
+	0,48
-	0,82
Standardabw.:	0,48
Varianz:	5,78%

DX54
1,4mm

Statistik:	
Ø F [kN]	11,39
min [kN]:	10,88
max [kN]:	12,05
+	0,66
-	0,51
Standardabw.:	0,43
Varianz:	3,74%

DP 600
1,5mm

Statistik:	
Ø F [kN]	13,58
min [kN]:	12,78
max [kN]:	15,05
+	1,47
-	0,80
Standardabw.:	0,56
Varianz:	4,15%

CP 800
1,6mm

Statistik:	
Ø F [kN]	13,69
min [kN]:	12,90
max [kN]:	14,46
+	0,77
-	0,79
Standardabw.:	0,38
Varianz:	2,79%

Trip 800
1,6mm

Schweißparameter:

Stromart: MF

$I_S = 21 \text{ kA}$

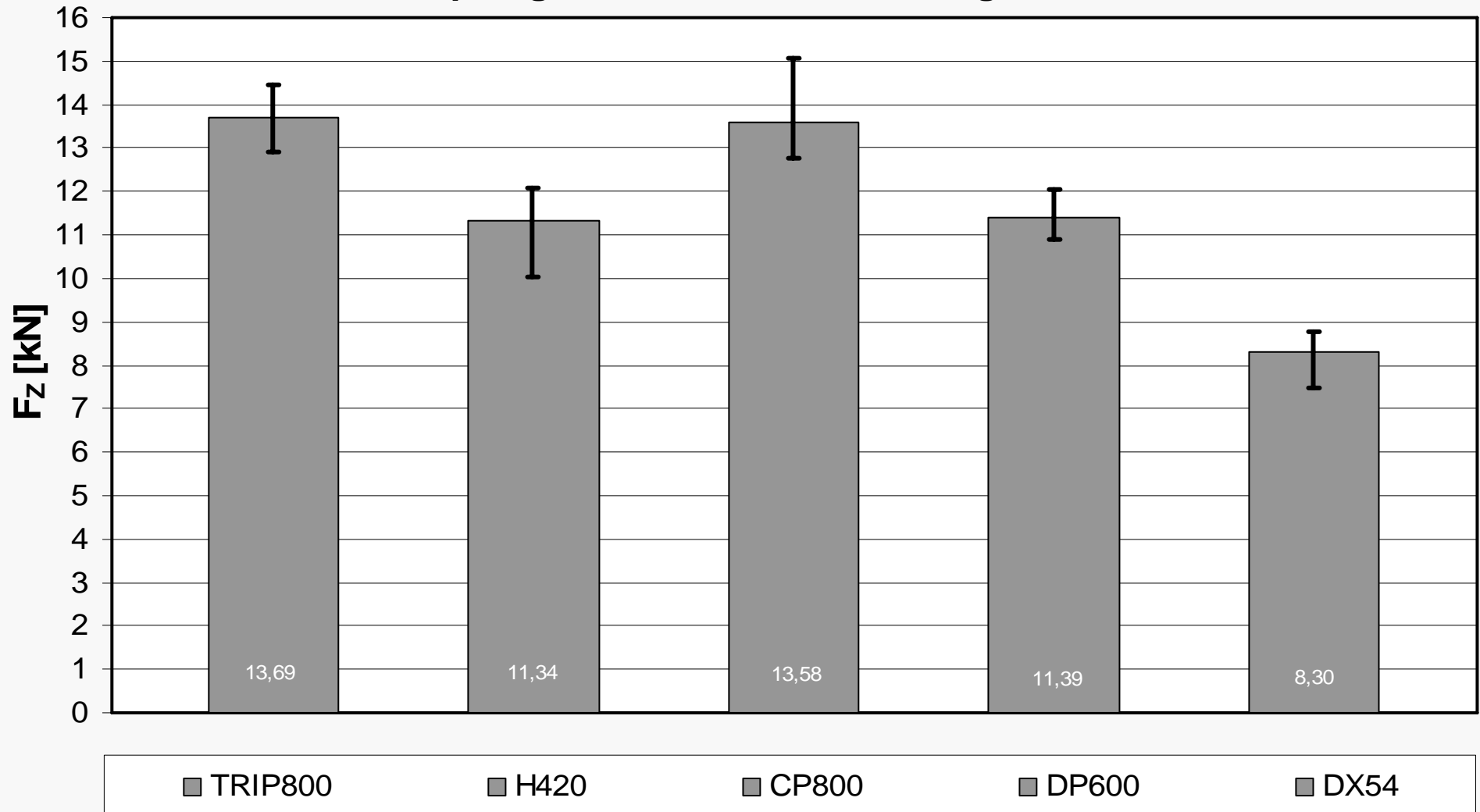
$t_S = 20 \text{ ms}$

$F_{EL} = 3 \text{ kN}$

Blechdicke 1,6 bis 1,4 mm , verzinkt Z

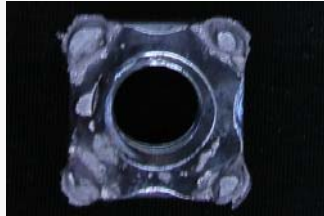
Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen

Kopfzugkräfte der neuen Buckelgeometrie

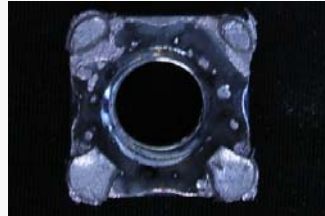


Blechdicke 1,6 bis 1,4 mm , verzinkt Z

Bruchverhalten bei seriennaher Erprobung



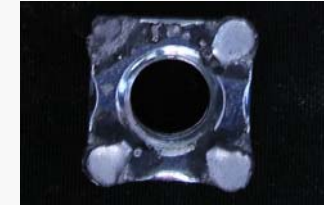
H420 LAD
1,6mm



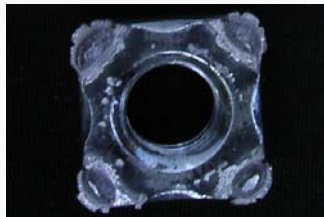
DP 600
1,5mm



CP 800
1,6mm



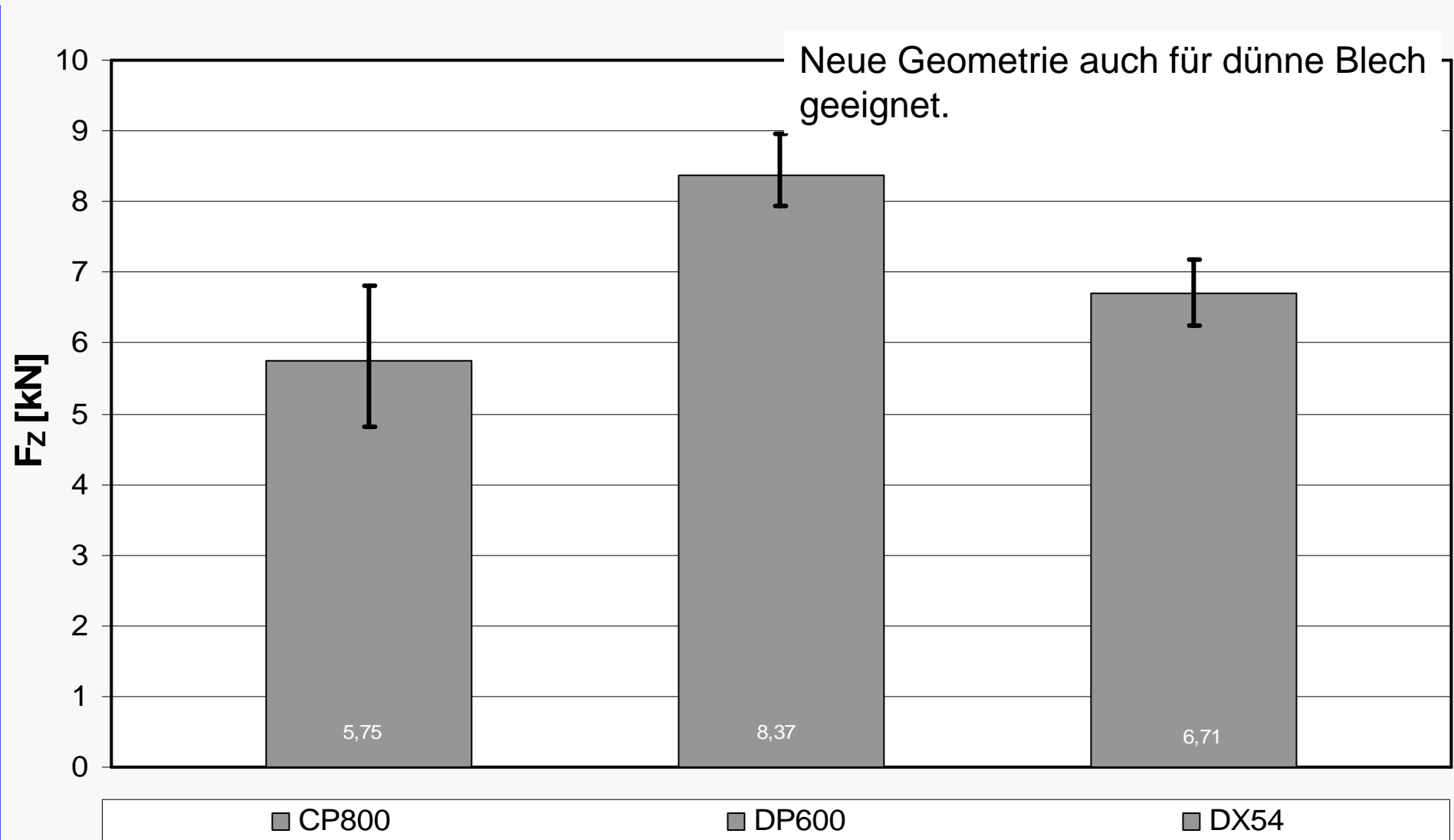
Trip 800
1,6mm



DX54
1,4mm

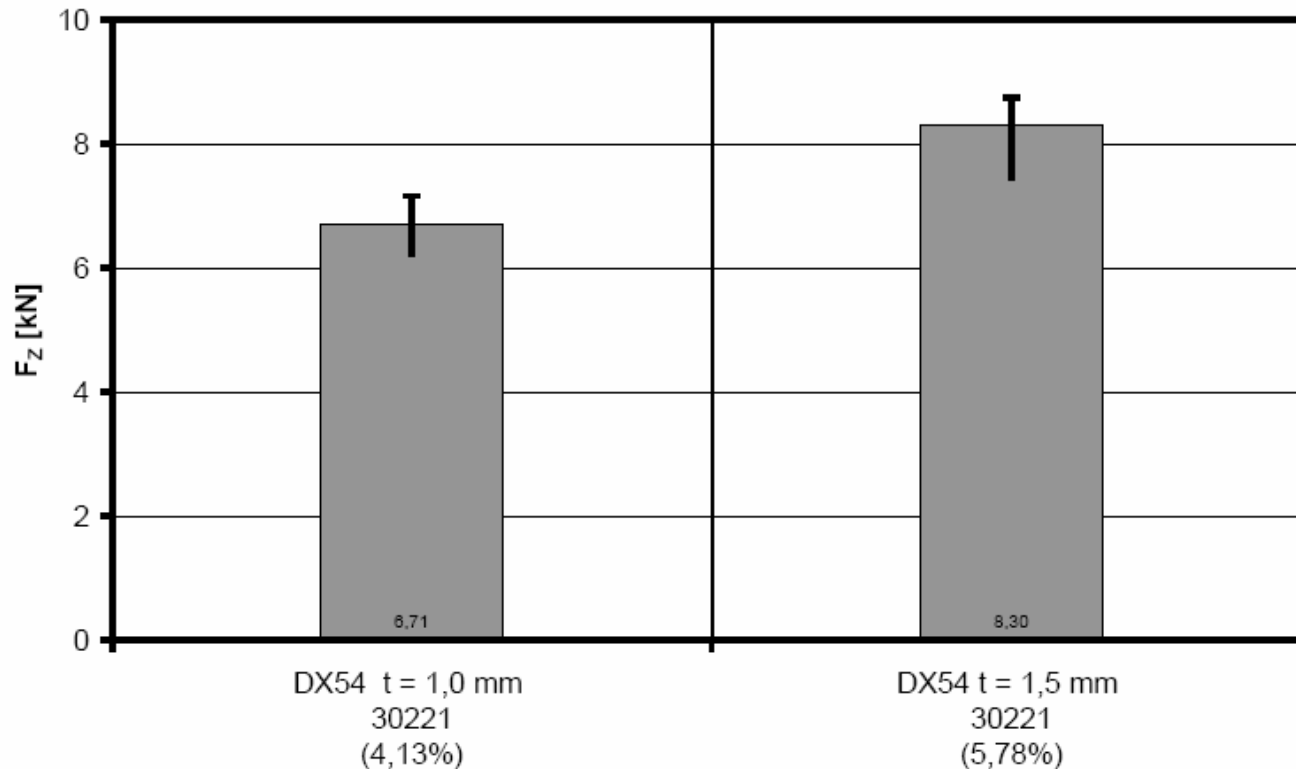
Alle Schweißungen knöpfen aus !

Anschweißen von Widerstandsschweißmuttern an höher- bis höchstfesten Werkstoffen



Blechdicke 1,0 bis 1,1 mm , verzinkt Z

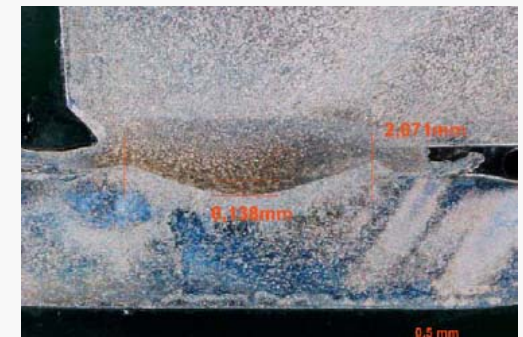
Neue 4kM8 für weiche Tiefziehstähle



Neue Geometrie auch für weiche Tiefziehstähle geeignet



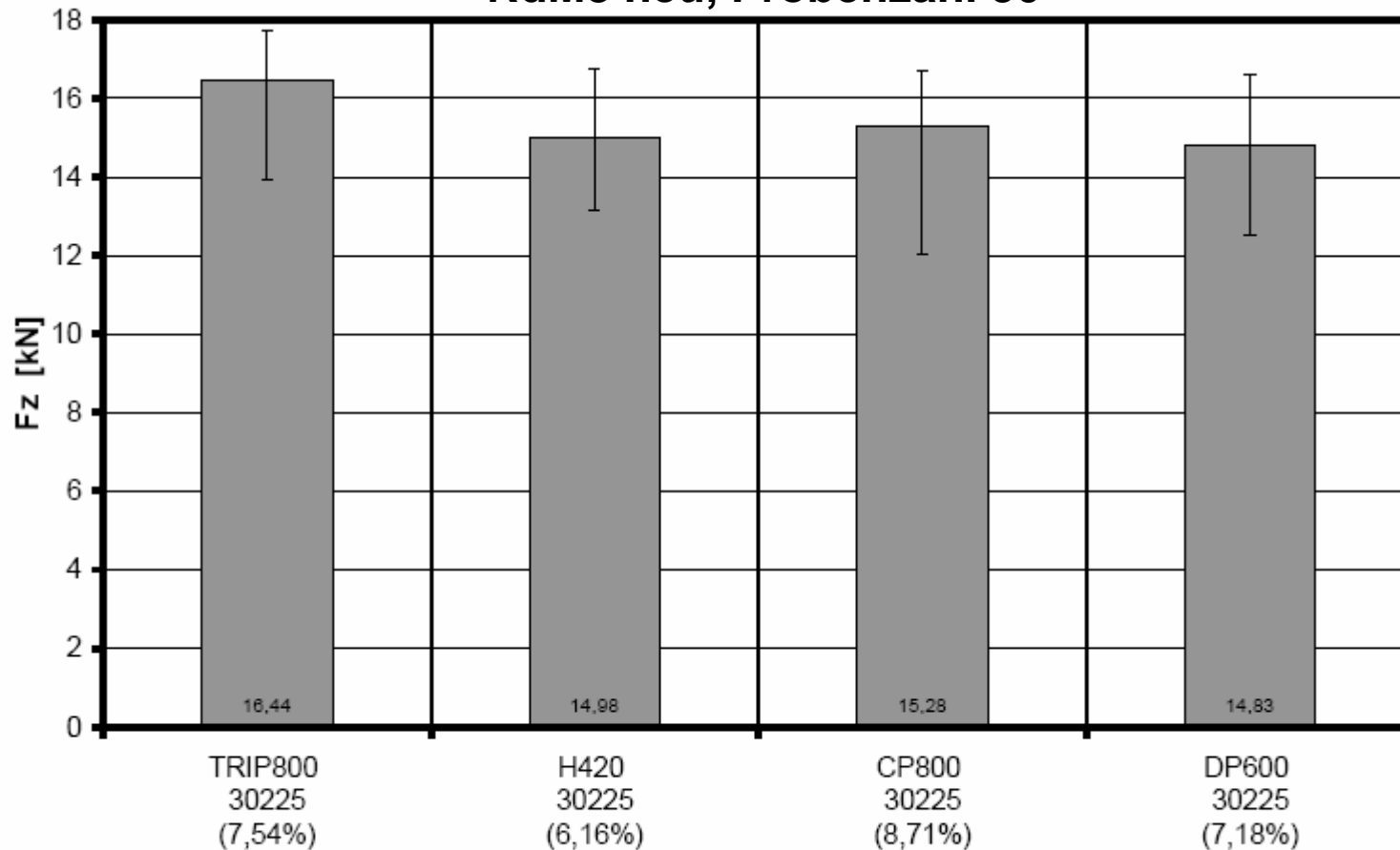
vollständig ausgeknöpft



fehlerfreie Schweiß-
verbindung

Seriennahe Erprobung der neuen Mutterngeometrie

RdM8 neu, Probenzahl 30



Probenanzahl: 30 Stück, Kriterium gute Gewindegängigkeit

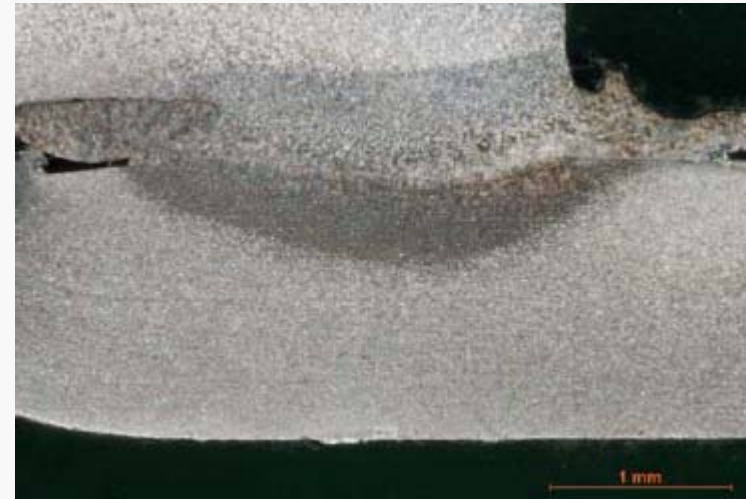
RdM8 neu / CP800

Bruchbild



vollständig ausgeknöpft

Makroschliff



Fehlerfreie Schweißverbindung

Zusammenfassung Werkstoffe

H420

- Für fast alle Elemente hohe Kräfte und Drehmomente
- Gewinde bei max. Festigkeiten besser gängig
- im Vergleich großes Parameterfenster für Ausknöpfbrüche

CP800

- Max. Bruchkraft und Drehmoment über Trip, häufiger Mischbruch
- Gewinde bei max. Festigkeiten häufig gängig
- im Vergleich zu H420 kleineres Parameterfenster
- Aufhärtungen von bis zu 450 HV1, Gefüge aus Bainit

Trip700

- sehr häufig Mischbruch
- Gewinde bei max. Festigkeiten schlechter gängig als bei H420
- im Vergleich zu H420 kleineres Parameterfenster für Ausknöpfbrüche
- Aufhärtungen von bis zu 520 HV1, Gefüge aus Martensit und Bainit
häufig Bindefehler in der Fügezone

Usibor1500

- Mit MF bei Kurzzeitschweißen bessere Verbindungen möglich
- Bindefehler, wenig Energieeinbringung im Grundblech

Zusammenfassung

- Gute Prozesssicherheit möglich, wenn die Buckelgeometrie gleichmäßiger und steifer werden.
- Variationen der Buckelhöhen und Aufstandsflächen stören im Vergleich zu „weichen“ Tiefziehstählen stärker.
- Kürzere Stromzeiten (20 bis 40 ms) führen zu Festigkeitserhöhungen.
- Kondensatorentladungsschweißungen liefern höheres Festigkeitsniveau bei geringem Variationskoeffizienten.
- Für presshärtende Stähle (22MnB5) Kondensatorentladung oder Kurzzeitschweißen zu empfehlen bei gleichzeitiger Optimierung der Buckelgeometrie.
- Optimierung der Verbindungsqualität wurde durch Entwicklung optimierter Parameter und verbesserte Buckelgeometrie erreicht

Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis:

- DVS Sitzungen zu den AGV3.2 und 3.4 Gruppen
- Lehrgänge in der SLV: SFI, SFM, ST, Einrichterlehrgänge, Vorführungen
- Beratungen
- Zahlreiche Anwendungen in den Automobilhäusern insbesondere Probleme mit den presshärtenden Stählen

Kenntnistransfer

- Veröffentlichung beim Treffpunkt Widerstandsschweißen
- Internetseiten der SLV München
- Einarbeitung in DVS Merkblatt ist vorgesehen

**Zusammenarbeit mit PBA war sehr hilfreich
zahlreiche konstruktive Hinweise führten zum erfolgreichen Abschluß**

**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit !**

PBA - Mitglieder

- BMW AG
- DaimlerChrysler AG
- ThyssenKrupp Steel
- Harms und Wende
- Volkswagen AG
- Ideal – Werk
- Limbach
- Fastenrath / Nedschroeff (Mutternlieferanten)