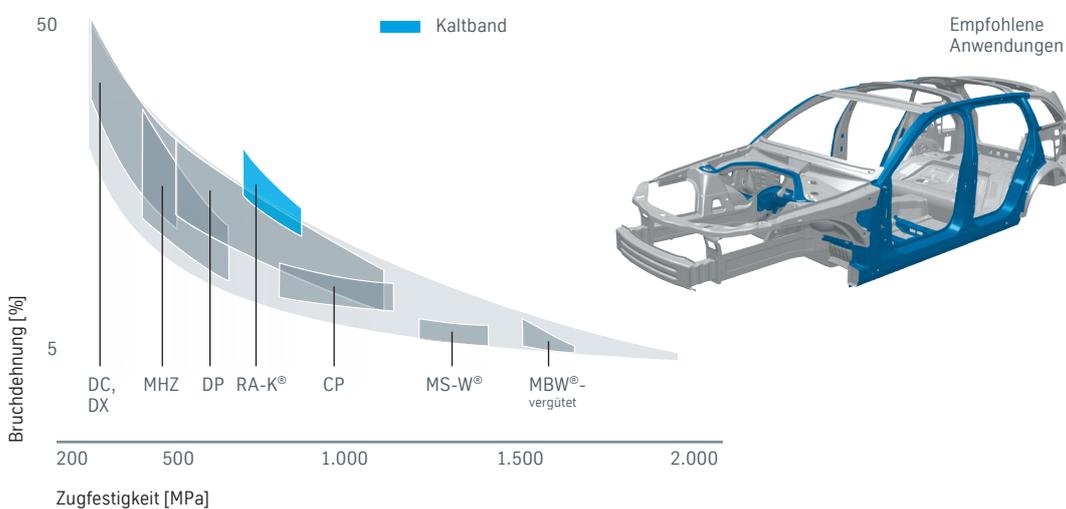




Stand: Juni 2016, Version 0

Stahlsortenübersicht



Inhalt

- 01 Anwendungsbereiche
- 02 Werkstoffcharakteristik
- 03 Technische Merkmale
- 05 Oberflächen
- 06 Hinweise für die Anwendung und Verarbeitung
- 10 Lieferbare Abmessungen
- 11 Anwendungsbeispiele

Anwendungsbereiche

Die von thyssenkrupp entwickelten Restaustenit-Stähle RA-K[®] sind moderne, bei der Umformung durch den „TRIP“-Effekt gekennzeichnete Mehrphasen-Stähle. Gegenüber den Dualphasen-Stählen bieten diese Stähle bei angehobener Festigkeit eine nochmals verbesserte Kaltumformbarkeit und Verfestigung. Erreicht wird diese Eigenschaftskombination durch Anteile metastabiler Restaustenits in einer ferritisch-bainitischen Gefügematrix. Der Restaustenit wandelt sich bei der Umformung zu großen Teilen in Martensit um und sorgt somit für hohe Bauteilfestigkeiten. Restaustenit-Stähle zeichnen sich durch eine hohe Gleichmaßdehnung und ein bis zu hohen Dehnungen bestehendes Verfestigungsvermögen aus.

Kaltgewalzter Restaustenit-Stahl RA-K[®] von thyssenkrupp eignet sich

in besonderem Maße für umformtechnisch extrem anspruchsvolle Bauteile mit hohen Streckzieh- und Tiefziehanteilen. Durch die hohen erreichbaren Bauteilfestigkeiten und das gute Energieabsorptionsvermögen bei erhöhten Verformungsgeschwindigkeiten ist Restaustenit-Stahl auch ideal für die Verwendung bei crashrelevanten Bauteilen geeignet. Daraus ergibt sich ein umfangreicher Anwendungsbereich für komplexe festigkeitsrelevante Strukturelemente wie Karosserieverstärkungen, Längsträger, Stirnwandquerträger und Säulen.

Aufgrund der speziellen chemischen Zusammensetzung sind die Stahlsorten RA-K[®] nicht generell für eine Stückverzinkung geeignet.

Stahlsortenbezeichnung und Oberflächenveredelungen

DIN EN 10346, 10152, 10338

Oberflächenveredelungen

- ZE Z ZF ZM AS

Nach DIN EN

Stahlsortenbezeichnung

Normbezeichnung

● RA-K® 400Y690T

HCT690T

●

●

Stahlsortenbezeichnung und Oberflächenveredelungen

VDA 239-100

Oberflächenveredelungen

UC EG GI GA ZM AS

Nach VDA

Stahlsortenbezeichnung

Normbezeichnung

● RA-K® 400Y690T

CR400Y690T-TR

●

●

- Kaltband
- Serienfertigung für Innenteile
- /UC Unbeschichtet
- ZE/EG Elektrolytisch verzinkt
- Z/GI Schmelztauchverzinkt
- ZF/GA Galvannealed
- ZM ZM EcoProtect®
- AS Aluminium-Silizium-beschichtet

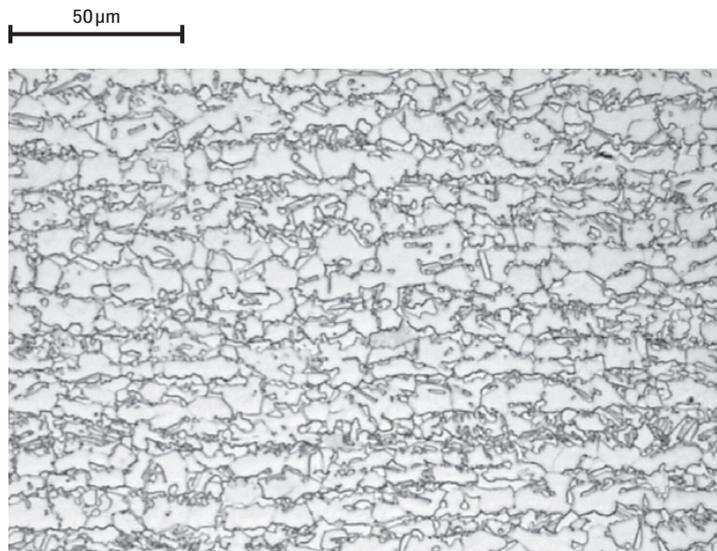
Werkstoffcharakteristik

Bei Restaustenit-Stählen kommt es während der Umformung zu einer Umwandlung des Restaustenits zu Martensit. Damit verbunden werden große Dehnungen auch bei hohen Festigkeiten erzielt. Restaustenit-Stähle eignen sich sowohl zum Streckziehen als auch zum Tiefziehen. Das Werkstoffverhalten ist gekennzeichnet durch eine starke Verfestigung, auch im Bereich großer Formänderungen, sowie ein hohes Bake-Hardening-Potenzial insbesondere nach Vorverformung. RA-K®-Stähle weisen ein hohes Energieabsorptionsvermögen bei dynamischer

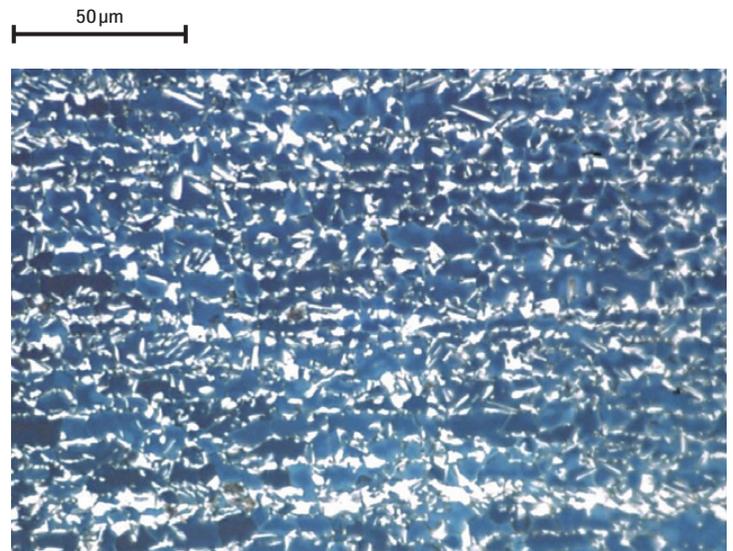
Beanspruchung auf. Das Gefüge besteht vornehmlich aus einer ferritisch-bainitischen Matrix, in die Restaustenit eingelagert ist. Der Ferritanteil einschließlich des bainitischen Ferrits beträgt bis zu 90%, Anteile von Martensit können vorhanden sein.

Die Korngrenzenstruktur ist auf der Folgeseite im linken Bild zu erkennen. Im rechten Bild erscheinen die Kornflächen des Ferrits und des bainitischen Ferrits in Braun- oder Blautönen. Restaustenit und metastabiler Martensit erscheinen weiß.

Beispielgefüge kaltgewalzter RA-Stähle



Beispielgefüge kaltgewalzter RA-Stähle. Gefügekontrastierung über Ätzung mit Nital.



Beispielgefüge kaltgewalzter RA-Stähle. Gefügekontrastierung mit Farbniederschlagsätzung nach Klemm.

Technische Merkmale

Chemische Zusammensetzung

Massenanteile der Schmelzanalyse	C [%] max.	Si [%] max.	Mn [%] max.	P [%] max.	S [%] max.	Al [%] total	Ti + Nb [%] max.	Cr + Mo [%] max.	V [%] max.	B [%] max.
----------------------------------	---------------	----------------	----------------	---------------	---------------	-----------------	---------------------	---------------------	---------------	---------------

Nach DIN EN

Stahlsortenbezeichnung

● RA-K® 400Y690T	0,24	2,00	2,20	0,080	0,015	0,015–2,00	0,20	0,60	0,20	0,005
------------------	------	------	------	-------	-------	------------	------	------	------	-------

Chemische Zusammensetzung

Massenanteile der Schmelzanalyse	C [%] max.	Si [%] max.	Mn [%] max.	P [%] max.	S [%] max.	Al [%] total	Ti + Nb [%] max.	Cr + Mo [%] max.	B [%] max.
----------------------------------	---------------	----------------	----------------	---------------	---------------	-----------------	---------------------	---------------------	---------------

Nach VDA

Stahlsortenbezeichnung

● RA-K® 400Y690T	0,24	2,00	2,20	0,080	0,015	0,015–2,0	0,20	0,60	0,005
------------------	------	------	------	-------	-------	-----------	------	------	-------

● Kaltband

Mechanische Eigenschaften

	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung		Verfestigungsexponent	Bake-Hardening
Prüfrichtung in Walzrichtung	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa] min.	A [%] min.	A_{80} [%] min.	n_{10-UE} min.	BH_2 [MPa] min.

Nach DIN EN

Stahlsortenbezeichnung

● RA-K® 400Y690T	400–520	690	–	23	0,19	40
------------------	---------	-----	---	----	------	----

Mechanische Eigenschaften

	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung			Verfestigungsexponent	Bake-Hardening
Prüfrichtung in Walzrichtung	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa] min.	A [%] min.	A_{50} [%] min.	A_{80} [%] min.	n_{10-20/A_g} min.	BH_2 [MPa] min.

Nach VDA

Stahlsortenbezeichnung

● RA-K® 400Y690T	400–520	690–800	–	25	24	0,19	40
------------------	---------	---------	---	----	----	------	----

- Kaltband

$R_{p0,2}$	Dehngrenze bei 0,2% plastischer Dehnung
R_m	Zugfestigkeit
A	Bruchdehnung bei einer Proportionalprobe mit $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ bei Blechdicken $\geq 3,0$ mm
A_{50}	Bruchdehnung bei einer Probe mit der Messlänge $L_0 = 50$ mm
A_{80}	Bruchdehnung bei einer Probe mit der Messlänge $L_0 = 80$ mm bei Blechdicken $< 3,0$ mm
n_{10-20/A_g}	Verfestigungsexponent, ermittelt zwischen 10 und 20% plastischer Dehnung bzw. der Gleichmaßdehngrenze bei $A_g 20\%$
BH_2	Streckgrenzenerhöhung nach einer plastischen Vordehnung von 2%, hervorgerufen durch eine Wärmebehandlung

Oberflächen

Oberflächenveredelungen, schmelztauchveredelt

	Spezifikation	Mindestauflage zweiseitig [g/m ²]		Auflage je Seite an Einflächenprobe		Informativ Typische Dicke [µm]
		Dreiflächenprobe	Einflächenprobe	Masse [g/m ²]	Dicke [µm]	
Schmelztauchverzinkt						
<i>Bezeichnung</i>						
Z100	DIN EN	100	85	–	5–12	7
GI40	VDA 239-100	–	–	40–60	5,6–8,5	–
Z140	DIN EN	140	120	–	7–15	10
GI60	VDA 239-100	–	–	60–90	8,5–13	–
Z200	DIN EN	200	170	–	10–20	14
GI85	VDA 239-100	–	–	85–115	12–16	–

Oberflächenausführungen und Oberflächenarten

	Oberflächenausführung	Oberflächenart
<i>Feinblechsorten</i>		
Kaltgewalzte Flacherzeugnisse	Unbeschichtet	A Normale Oberfläche U Unexposed (Innenteile)
Schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse	Schmelztauchverzinkt	B Verbesserte Oberfläche U Unexposed (Innenteile)

A/B nach DIN EN
U nach VDE 239-100

Oberflächenbehandlungen

Art der Oberflächenbehandlung	–/UC	ZE/EG	Z/GI	ZF/GA	ZM	AS
0 Geölt	●		●			

- Serienfertigung
- /UC Unbeschichtet
- ZE/EG Elektrolytisch verzinkt
- Z/GI Schmelztauchverzinkt
- ZF/GA Galvannealed
- ZM ZM EcoProtect®
- AS Aluminium-Silizium-beschichtet

Hinweise für die Anwendung und Verarbeitung

Umformen

Restaustenit-Stähle RA-K® eignen sich vor allem für umformtechnisch anspruchsvolle Bauteile mit hohen Tief- und Streckziehteilen, insbesondere im Fahrzeugbau zur Darstellung komplexer festigkeitsrelevanter Strukturteile mit hohem Energieaufnahmevermögen. Restaustenit-Stähle gewinnen an Umformbarkeit durch die verformungsinduzierte Umwandlung von Restaustenit in Martensit. Dieses führt zu einem sehr guten Verfestigungsverhalten, ausgedrückt durch einen entsprechend hohen n-Wert. Restaustenit-Stähle besitzen somit einen hohen Widerstand gegen lokales Einschnüren, da durch die starke Verfestigung das Material großflächiger an der Umformzone beteiligt wird.

Aufgrund der sehr hohen n-Werte besitzt z. B. ein RA-K® 400Y690T eine ähnlich gute Streckziehfähigkeit wie ein Tiefziehstahl der Sorte DC05. Die für die Verfestigung günstige Umwandlung von Restaustenit in Martensit führt jedoch auch zu einer ausgeprägten Kantenaufhärtung beim mechanischen Schneiden und reduziert das gute Umformpotenzial im Schnittkantenbereich deutlich. Bei der konstruktiven Festlegung z. B. von Durchstellungen oder der Höhe von abgestellten Flanschen in Eckbereichen ist dieses zu berücksichtigen.

Kleinste Biege- und Ziehradien sind im Bezug zur jeweiligen Blechdicken zu vermeiden. Restaustenit-Stähle reagieren unter hoher Scherbeanspruchung erkennbar sensibler als hochfeste mikrolegierte Stahlgüten. Zur Verbesserung der Maßhaltigkeit der umgeformten Bauteile ist eine möglichst homogene Plastifizierung einzustellen. Dieses kann z. B. durch optimierte

Abwicklungsverhältnisse erzielt werden. Die Pressen sollten über ein hohes Potenzial an Press- und Niederhalterkräften verfügen. Als Richtwert sollte hierbei das Zugfestigkeitsniveau im Vergleich zu bekannten Werkstoffen betrachtet werden.

Besonderes Augenmerk ist auf die Auslegung der Umform- und Schneidwerkzeuge zu legen. Speziell beim Schneiden ist die Anforderungen an die Werkzeuge hoch. Neben einer ausreichenden Härte von > 60HRC muss durch die Auswahl geeigneter Werkzeugwerkstoffe gleichzeitig eine hohe Duktilität gewährleistet sein, um ein frühzeitiges Ausbrechen der Schneidkanten zu vermeiden. Der Schneidspalt ist unter Berücksichtigung der jeweiligen Blechdicke und dem Bruchverhalten des Werkstoffes auszulegen und sollte als Richtwert > 10 % der Blechdicke betragen. Hinsichtlich der Umformwerkzeuge muss eine ausreichende Stützhärte erzielt werden. Üblich ist ein segmentierter Aufbau der Umformwerkzeuge. Zusätzlich können Werkzeugbeschichtungen wie eine CVD (TiC-TiN-Beschichtung) den Werkzeugverschleiß minimieren.

Verarbeitungshinweise zum Fügen

Restaustenit-Stähle sind sowohl in Verbindung mit sich selbst als auch in Mischverbindungen mit anderen gängigen Stahlsorten gut schweißgeeignet. Voraussetzung sind auf den Werkstoff abgestimmte Schweißparameter.

Widerstandspunktschweißen

Zum Punktschweißen von Restaustenit-Stählen können die gleichen Einrichtungen wie zum Schweißen unlegierter Tiefziehstähle verwendet werden. Bei gleicher Blechdicke wird jedoch, wie bei anderen hochfesten Stahlsorten, eine Einengung des Schweißstromereinstellbereiches beobachtet, die durch Anhebung der Elektrodenkräfte und Schweißströme weitgehend kompensiert werden kann. Auch eine Verlängerung der Schweißzeit wirkt sich auf den Schweißstromereinstellbereich günstig aus. Analog kann entsprechend DIN EN ISO 18278-2 auch Mehrimpulsschweißen angewendet werden. Zur Minimierung von Scherbrüchen hat sich das Schweißen mit einem Nachwärmimpuls bewährt, der die Duktilität der Schweißlinse durch einen Anlasseneffekt auf dem spröden Martensit verbessert. Im Vergleich zu Stahlsorten mit niedrigeren Festigkeiten

weisen Restaustenit-Stähle eine geringere elektrische Leitfähigkeit auf, weshalb sie beim Punktschweißen bei gleicher Elektrodenkraft niedrigere Schweißströme erfordern. Beim Widerstandspunktschweißen verzinkter Bleche müssen die Schweißströme aufgrund der höheren Leitfähigkeiten des Überzuges gegenüber dem Grundwerkstoff angehoben werden. Darüber hinaus wirkt sich eine Erhöhung der Elektrodenkraft und der Schweißzeit günstig auf den Schweißbereich aus. In Abhängigkeit der Blechdicke und des an der Schweißaufgabe erreichten Punktdurchmessers d_w können hohe Verbindungsfestigkeiten in unterschiedlichen Beanspruchungsrichtungen erzielt werden.

Typische Eigenschaften einer Widerstandspunktschweißung

Stahlsortenbezeichnung	Blechdicken t	Schweißbereich Δl	Kopfzugkraft bei $d_{w, min}$	Scherzugkraft bei $d_{w, min}$	Gemittelte Härte HV 0,1	
	[mm]	[kA]	[kN]	[kN]	Grundwerkstoff	Schweißlinse
● HX340LAD+Z	1,5	2,0	9,9	13,7	165	330
● RA-K® 400Y690T+Z140	1,5	1,0	6,6	17,7	200	440
● RA-K® 400Y690T-GI60	1,5	1,0	6,6	17,7	200	440

Prüfergebnisse nach SEP 1220-2, bei Konzeptgleichheit von DIN EN-Güte auf VDA-Güte projiziert.

- Kaltband
- t Blechdicke der Prüfkörper
- $d_{w, min}$ Schweißpunktdurchmesser von $4 \sqrt{t}$

MHZ 340

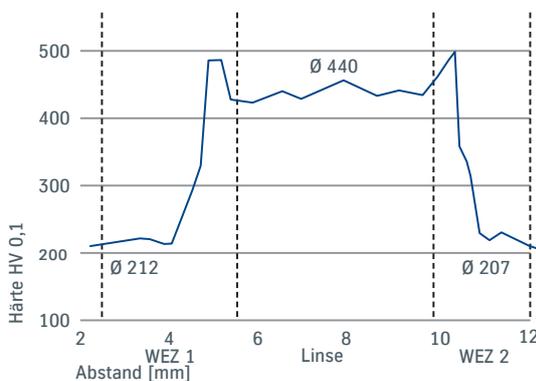


RA-K® 400Y690T



Ungänzfreie Schweißverbindung.

Härteverlauf an einer Punktschweißverbindung an einem RA-K® 400Y690T



Deutliche Aufhärtung über dem Grundwerkstoff.

MIG-Lichtbogenlöten

Im Merkblatt DVS 0938-2 „Lichtbogenlöten“ wird das Löten von Stählen bis zu einer Zugfestigkeit von ca. 500 MPa beschrieben. Da der beschriebene Werkstoff oberhalb dieser Zugfestigkeit liegt, wird empfohlen, bauteilspezifisch eine Validierung des Lötens mit Cu-Basis-Zusatzwerkstoffen durchzuführen.

MAG-Schweißen

Beim MAG-Schweißen von RA-K®-Stählen nach E SEP 1220-5 können Standard-Stahlzusatzwerkstoffe mit angehobener Festigkeit wie bspw. nach DIN EN ISO 14341 der G 46 4 M G4Si1 (ehemals „SG3“) unter Anwendung konventioneller Mischgase (Ar/CO₂ 82/18, 92/8) verwendet werden. Beim Vorliegen einer technischen Nullspalte an Kehlnähten im Überlappstoß ist bei verzinkten RA-K®-Stählen die Verwendung von Schutzgasen mit höherem Aktivgasanteil empfehlenswert, da hierdurch einem erhöhten Potenzial für Porenbildung entgegengewirkt werden kann. Im Reparaturfall ist ein Abschleifen der Oberflächenbeschichtung vorteilhaft.

Laserstrahlschweißen

Das Laserstrahlschweißen von RA-K®-Stählen ist sowohl mit CO₂ als auch mit Festkörperlasern gut möglich. Das Schweißen mit CO₂-Lasern geschieht unter Verwendung der gängigen Schutzgase. Im Bereich der Schmelzzone ist eine erhöhte Aufhärtung festzustellen. Beim Vorliegen einer technischen Nullspalte an Überlappverbindungen ist bei verzinkten RA-K®-Stählen die Zinkentgasung durch geeignete Maßnahmen zu gewährleisten, da es sonst zu Porenbildung und ungleichmäßigem Nahtaussehen kommen kann.

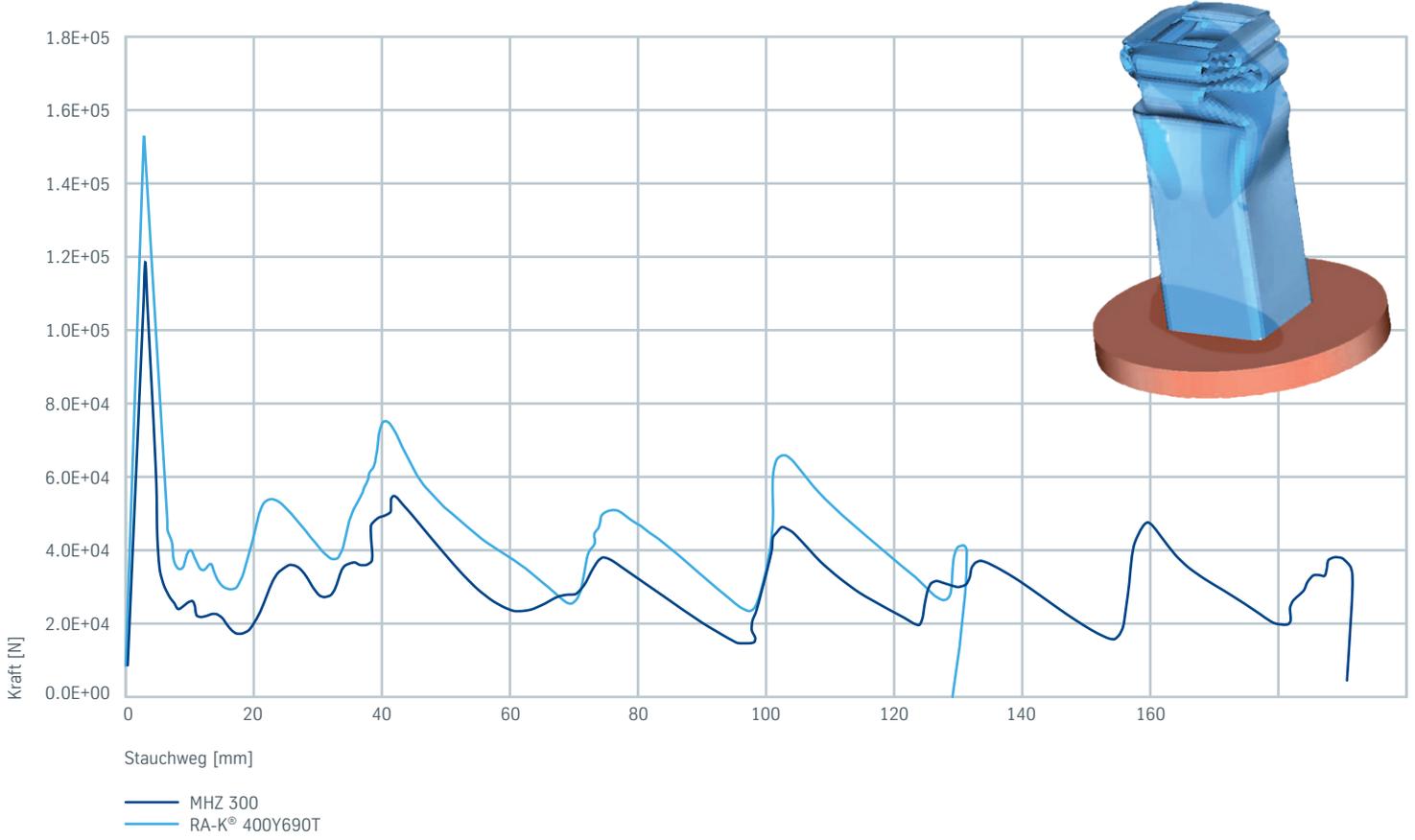
Betriebsfestigkeit und Crashverhalten

Restaustenit-Stähle zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sich der vorhandene Restaustenit verformungsinduziert zu Martensit umwandeln kann. Diese Gefügeumwandlungen erzeugen eine sehr stabile Verfestigung. Im nachfolgenden Beanspruchungsfall, d. h. im Einsatz unter Betriebsbedingungen, werden diese Verfestigungen nicht abgebaut.

Bei der Abschätzung der Bauteillebensdauer ist daher zu berücksichtigen, dass Blechdickenreduzierungen durch diese Verfestigung kompensiert werden können. Neben dieser Verfestigungsform treten ebenso die Mischkristall- und die Alterungsverfestigung (BH-Effekt) auf Einfache Kaltverfestigungsprozesse, die im Wesentlichen durch die einfache Zunahme der Versetzungsdichte charakterisiert sind, sollten bei Betriebsfestigkeitsbetrachtungen aus konservativer Sicht vernachlässigt werden.

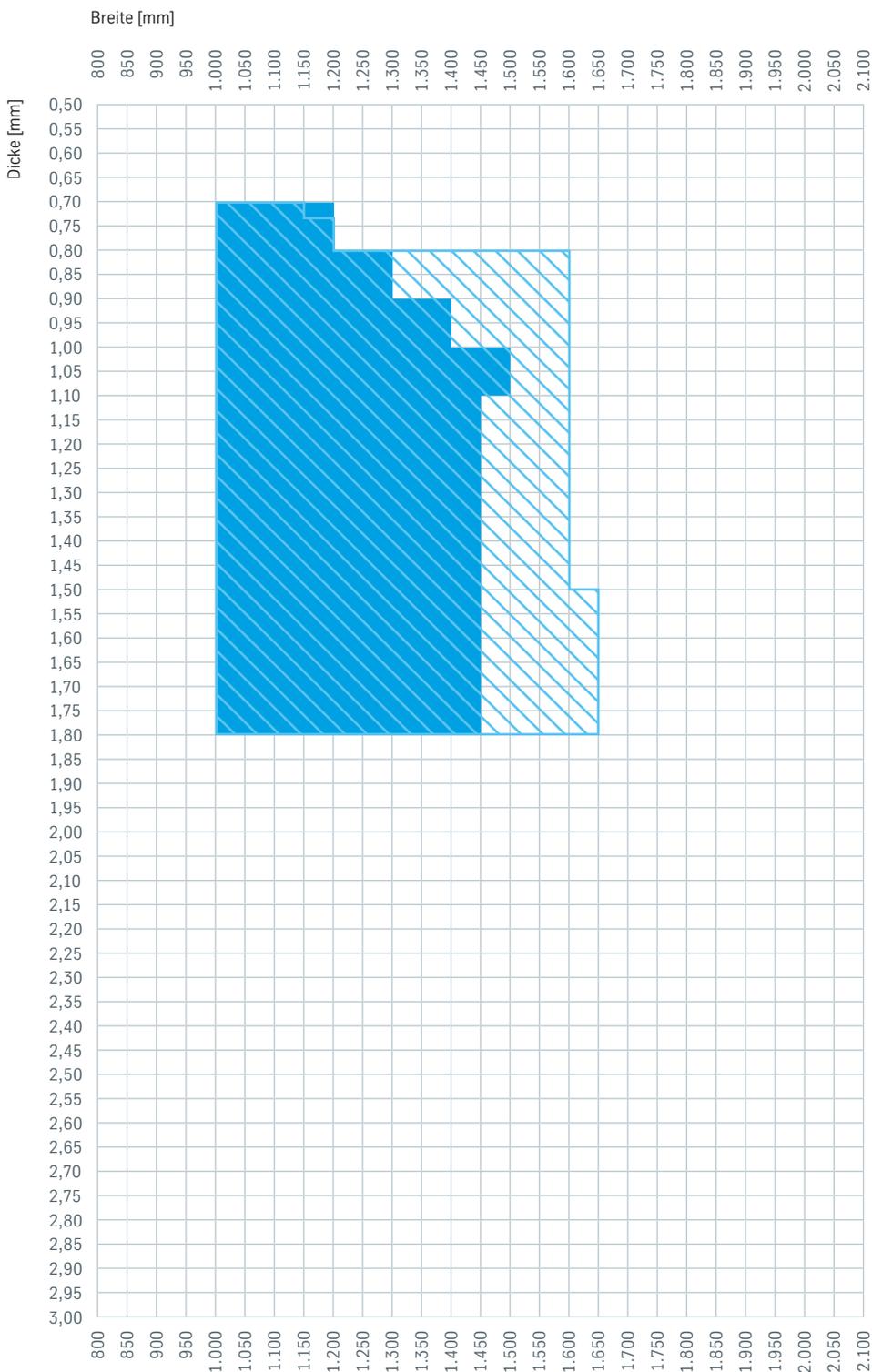
Die crashrelevanten Eckdaten der Restaustenit-Stähle wie Streckgrenze und Zugfestigkeit weisen diese Werkstoffgruppe als sehr gut crashenergieabsorbierendes Material aus. Für Bauteile, die im Crashfall einen hohen Crashdeformationswiderstand aufweisen sollen, sind Complexphasen- und Martensitphasen-Stähle besser geeignet als Restaustenit-Stähle.

Simulationsergebnisse am Vierkantprofil

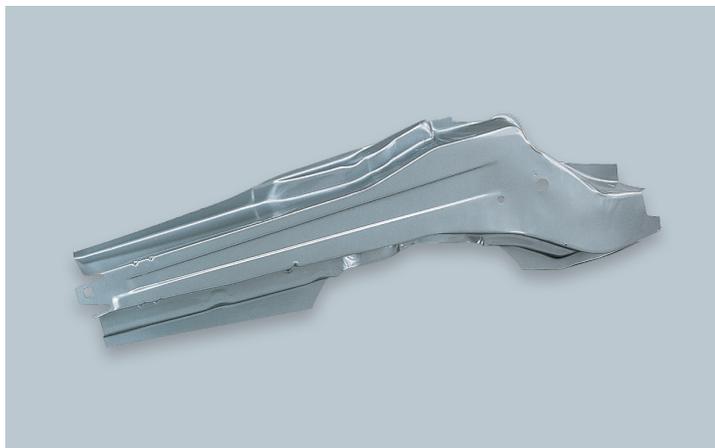


Lieferbare Abmessungen

RA-K® 400Y690T



Anwendungsbeispiele



Ein vorderer Längsträger aus RA-K® 400Y690T.

Werksondergütern werden mit den besonderen Eigenschaften von thyssenkrupp geliefert. Weitere, hier nicht angegebene Lieferbedingungen werden in Anlehnung an die jeweils gültige Spezifikation ausgeführt. Zur Anwendung kommen die zum Ausgabedatum dieser Produktinformation gültigen Spezifikationen.

Allgemeiner Hinweis

Angaben über die Beschaffenheit oder Verwendbarkeit von Materialien bzw. Erzeugnissen dienen der Beschreibung. Zusagen in Bezug auf das Vorhandensein bestimmter Eigenschaften oder einen bestimmten Verwendungszweck bedürfen stets schriftlicher Vereinbarungen. Technische Änderungen vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der thyssenkrupp Steel Europe AG. Die aktuellste Version der Produktinformation finden Sie unter: www.thyssenkrupp-steel.com/publikationen