

Steel

# perform<sup>®</sup>

Hinweise für die Anwendung und Verarbeitung



thyssenkrupp

Stand: Oktober 2024

## Einleitung

perform<sup>®</sup> von thyssenkrupp ist ein mikrolegierter thermomechanisch gewalzter Kaltumformstahl. Kennzeichnend für die perform<sup>®</sup>-Stähle sind der besonders geringe Schwefelgehalt, der niedrige Gehalt an Kohlenstoff und die Mikrolegierung von Niob, Titan, Vanadium oder Molybdän sowie deren Kombination. perform<sup>®</sup>-Stähle sind hervorragend kalt umformbar und schweißbar. Das extrem feinkörnige Gefüge führt zusätzlich zu einer sehr guten Zähigkeit mit geringem Kaltriss-Risiko. thyssenkrupp bietet die höherfesten mikrolegierten Stähle in unterschiedlichen Streckgrenzenstufen von 300 bis 700 MPa an.

## Hinweise zur Verarbeitung

### Umformen

Mikrolegierte Stähle sind ideal für struktur- und crashrelevante Teile, wie z. B. Träger. Die Auswahl der einzusetzenden Stahlsorte für ein bestimmtes Festigkeitsniveau sollte auch mit besonderem Blick auf die tatsächlich zu erwartende Umformbeanspruchung getroffen werden. Auf diese Weise können die individuellen Vorteile optimal genutzt und die Stähle damit auch für schwierige Ziehteile eingesetzt werden.

Die Stähle sind unter Berücksichtigung des vorhandenen Streckgrenzen- und Festigkeitsniveaus für Streck- und Tiefziehoperationen gleichermaßen gut geeignet. Mikrolegierte Stähle ermöglichen durch ihr robustes Umformverhalten den Einsatz von komplexen mehrstufigen Umformverfahren. Dieses ermöglicht die Herstellung komplexer Bauteilgeometrien.

## Inhalt

01	Einleitung
01	Umformen
02	Lokales Umformen
02	Biegen und Abkanten
03	Thermisches Schneiden
03	Fügen
03	Schweißen
03	Widerstandspunktschweißen
03	Metall-Schutzgaslöten
04	Lichtbogenschweißen
05	Laserstrahlschweißen
05	Betriebsfestigkeit und Crashverhalten

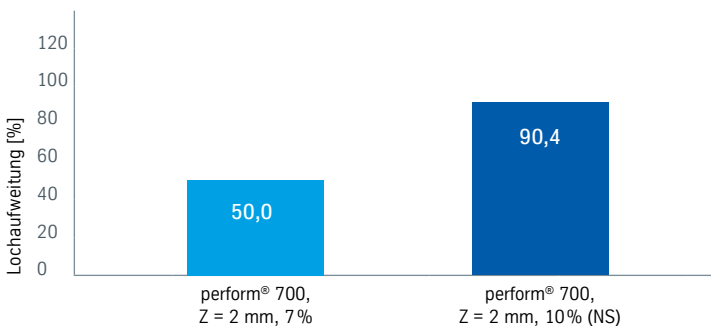
### Lokales Umformen

Mit ihrer besonders feinkörnigen Gefügestruktur und ihrem hohen Reinheitsgrad bieten die perform®-Stähle ein stabiles Lochausweitungsvermögen. Die Stähle erlauben für Ihre jeweiligen Festigkeitsklasse niedrige Biegeradien und übertreffen damit die Normanforderung nach DIN EN 10149-2 meistens deutlich. Bei 90°-Abkantungen dünner perform® 700-Bleche bis etwa 4 mm sind beispielsweise Mindestbiegeradien von nur 0,5-mal der Blechdicke darstellbar.

Bei allen Schneidprozessen ist darauf zu achten eine möglichst gute Qualität der Schnittkanten zu erreichen, da diese für die weitere Verarbeitung die Performance des Werkstoffes stark beeinflussen kann (u. a. für Belastungen an der Kante wo ein gutes Lochaufweitungsvermögen gefragt ist oder auch für Biegeprozesse). So entstehen zum Beispiel beim mechanischen Schneiden Verformungen und damit verbundene Verfestigungen im Bereich der Schnittkante, die für nachfolgende Umformschritte berücksichtigt werden müssen.

Für Blechdicken bis etwa 6 mm empfiehlt sich in der Regel einen Schneidspalt von 7 bis 8 % zu nutzen, um eine optimale Kantenbeschaffenheit zu bekommen. Für besonders hohe Anforderungen im oberen Festigkeitsbereich hat sich die Ergänzung einer Nachschneideoperation bewährt. Hierbei werden, z. B. beim Kragenziehen, unmittelbar vor dem Umformprozess die Schnittkanten nochmals im Bereich von ca. 60 bis 80 % der Blechdicke nachgeschnitten. Der positive Effekt lässt sich in deutlich höheren Lochaufweitungswerten nachweisen (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Lochaufweitung Kegelstempel 50°



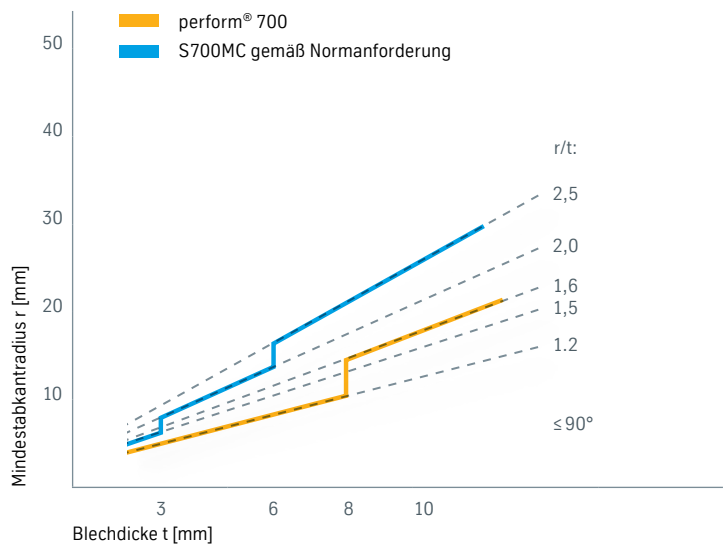
Lochaufweitung mit 50° Kegelstempel, D<sub>0</sub> = 20 mm; links Referenz (7% Schneidspalt); rechts mit Nachschneiden ca. 80% der Blechdicke.

### Biegen und Abkanten

Das vorherrschende Umformverfahren für Kaltumformstähle ist das Abkanten. Die Verformung mit definiertem Innenradius mittels Kantvorgang in einem Gesenk ist aufgrund des starren Werkzeugs meist eingeschränkt. Je höher die Festigkeit des Stahls ist, umso größer ist der Mindestabkantradius.

In Abbildung 2 sind die Abkantradien für perform® 700 im Vergleich zum S700MC gemäß Normforderung richtungsunabhängig dargestellt.

Abbildung 2: Abkantradien perform® 700 versus S700MC



perform® 700 lässt sich deutlich besser Biegen und Abkanten als die Vergleichsgüte gemäß DIN EN 10149-2.

### Mindestwerte für die Biegehalbmesser beim Kaltumformen

Empfohlener kleinster Biegehalbmesser bei Nenndicken t in [mm]<sup>1)</sup>

t ≤ 3	3 < t ≤ 6	6 < t < 8	t ≥ 8
-------	-----------	-----------	-------

#### Thermomechanisch gewalzter Stahl zum Kaltumformen

##### Stahlsorte

perform® 700	1,2 t	1,2 t	1,2 t	1,6 t
--------------	-------	-------	-------	-------

##### Vergleichsgüte DIN EN 10149-2

S700MC	1,5 t	2,0 t	2,5 t	2,5 t
--------	-------	-------	-------	-------

<sup>1)</sup> Die Werte gelten für Biegewinkel ≤ 90°.

## Thermisches Schneiden

Das thermische Schneiden wird häufig bei Non-Auto-Anwendungen und höheren Blechdicken eingesetzt. Für perform®-Stähle kommen grundsätzlich die Verfahren Plasmastrahlschneiden, Laserstrahlschneiden und autogenes Brennschneiden in Betracht.

Bei einer Blechdicke von unter 20 mm werden beim thermischen Schneiden von Stahl häufig die Verfahren Laserstrahlschneiden und Plasmastrahlschneiden eingesetzt, aufgrund der im Vergleich zum autogenen Brennschneiden höheren Schnittgeschwindigkeit und des geringeren Wärmeeintrags. Letzterer resultiert in einer schmaleren Wärmeeinflusszone sowie in geringerem Verzug.

Das Laserstrahlschneiden weist im Vergleich zum Plasmastrahlschneiden eine höhere Maßhaltigkeit auf, so dass häufig im Anschluss auf eine zerspanende Bearbeitung verzichtet werden kann.

## Fügen

Mikrolegierte Stähle wie perform® zeichnen sich durch eine sehr gute Fügeignung aus, sowohl in artreinen als auch in Mischverbindungen. Voraussetzung sind auf den Werkstoff abgestimmte Parameter.

## Thermisches Fügen

Beim Schweißen sind die DIN EN 10149-1 Abschnitt 7.5 „Technologische Eigenschaften“ und das STAHL-EISEN-Werkstoffblatt 088 zu beachten. Die Wahl des Fügeverfahrens sollte in Abhängigkeit der technischen Anforderungen und der Blechdicke getroffen werden. Für den Einsatz im Automobilbereich empfiehlt sich eine Orientierung am Stahl-Eisen-Prüfblatt (SEP) 1220, Teile 1 bis 4, oberhalb des für den Fahrzeugbau typischen Dicken am Stahl-Eisen-Werkstoffblatt (SEW) 088.

## Schweißen

Beim Schweißen sind die in DIN EN 10149-2, Abschnitt 7.5 „Technologischen Eigenschaften“ und das STAHL-EISEN-Werkstoffblatt 088 zu beachten.

Hinweise für die schweißtechnische Verarbeitung finden sich auch in DIN EN 1011 Teil 1 und 2. Darüber hinaus wird empfohlen, vor der ersten Verarbeitung die Auskünfte des Stahlherstellers in Anspruch zu nehmen, um die dort vorliegende Erfahrung bei der Verarbeitung zu nutzen.

## Widerstandspunktschweißen

Speziell im Karosseriebau steht traditionell das Widerstandspunktschweißen im Vordergrund. Vor allem Feinbleche mit Dicken unter 3 mm können durch dieses Verfahren in der Massenfertigung wirtschaftlich und prozesssicher gefügt werden. Hierzu ist jedoch in der Regel eine Anpassung der Fügeparameter Schweißstrom, Schweißzeit und Elektrodenkraft erforderlich. Von besonderem Interesse ist dabei der Einfluss der Elektrodenkraft und der Schweißzeit auf die Breite des Schweißbereiches.

Grundsätzlich ist das Widerstandspunktschweißen bei perform® wie bei anderen ferritischen Werkstoffen anwendbar. Einschränkungen der Schweißignung können sich durch die Anwesenheit von metallischen Überzügen und/oder Beschichtungen wie etwa Oberflächen-Nachbehandlungen ergeben. Bei perform® ist aufgrund des geringen Anteils von Legierungselementen eine geringe Aufhärtung und damit ein duktileres Verhalten der Verbindung zu erwarten.

Für einen ausreichend breiten Schweißbereich werden mit zunehmender Blechdicke und -festigkeit in der Regel auch höhere Elektrodenkräfte und längere Stromflusszeiten benötigt. Alternativ kann sich die Anwendung von Mehrimpuls-Schweißen in Anlehnung an SEP 1220-2 günstig auf die Breite des Schweißbereiches auswirken. Empfehlungen für die Anwendung weiterer Widerstandsschweißverfahren wie beispielsweise das Buckel- oder Mutternschweißen finden sich in den Merkblättern des DVS wieder.

## Metall-Schutzgaslötten

Das MSG-Löten oder auch Lichtbogenlöten wird üblicherweise bei für den Automobilbau typischen Blechdicken angewendet. Die Vorgehensweise zur Entwicklung von Parametern ist beispielsweise in SEP 1220-4 und DVS 0938-2 beschrieben. Das Merkblatt DVS 0938-2 „Lichtbogenlöten“ beschreibt das Löten von Stählen bis zu einer Zugfestigkeit von ca. 500 MPa. Liegt der verwendete Werkstoff oberhalb dieser Zugfestigkeit, wird empfohlen, bauteilspezifisch die Eigenschaften der Verbindung zu prüfen. Grundsätzlich ist das Lichtbogenlöten bei perform® wie bei anderen ferritischen Werkstoffen anwendbar; es können sich jedoch Einschränkungen durch zusätzlich aufgebraute metallische Überzüge und/oder Beschichtungen ergeben.

### Lichtbogenschweißen

perform® eignet sich gut für eine Verarbeitung mit den gängigen Lichtbogenschweißverfahren wie Metall-Schutzgas-Schweißen (MSG), Unterpulver-Schweißen (UP), Lichtbogenhand-Schweißen (E-Hand-Schweißen) sowie deren Abwandlungen und Hybridverfahren. Es sollte ein Zusatzwerkstoff verwendet werden, welcher bei den gewählten Parametern ein Schweißgut gewährleistet, dessen Streckgrenze oberhalb derjenigen der verwendeten perform®-Güte liegt (Overmatching).

Dabei sollte beachtet werden, dass mit der Streckgrenze des Schweißguts auch die Neigung zu Kaltrissen zunimmt, so dass sich ein Schweißgut mit zu hoher Festigkeit auch nachteilig auswirken kann. Dies ist in der Regel allerdings nur für Blechdicken oberhalb des automobiltypischen Bereichs relevant. In Tabelle 1 ist eine Übersicht empfehlenswerter Zusatzwerkstoffe für das MSG- und E-Hand-Schweißen sowie über Draht-Pulver-Kombinationen für das UP-Schweißen gegeben.

**Tabelle 1: Schweißzusatzwerkstoff und Draht-Pulver-Kombination**

	Zusatzwerkstoff MSG-Schweißen	Zusatzwerkstoff E-Hand-Schweißen	Draht-Pulver-Kombina- tion UP-Schweißen
<b>Stahlsorten</b>			
perform® 300 bis perform® 380	G 42 4 M21 3Si1 nach EN ISO 14341-A	E 42 5 B 4 2 H5 nach EN ISO 2560-A	S 38 4 AB S2 nach EN ISO 14171-A
perform® 420 bis perform® 460	G 46 4 M21 4Si1 nach EN ISO 14341-A	E 50 4 B 4 2 H5 nach EN ISO 2560-A	S 46 2 AR S2Mo H5 nach EN ISO 14171-A
perform® 500 bis perform® 550	G 62 5 M21 Mn3Ni1Mo nach EN ISO 16834-A	E 62 6 Mn2NiCrMo B 4 2 H5 nach EN ISO 18275-A	S 55 6 FB S3Ni1Mo H5 nach EN ISO 26304-A
perform® 600 bis perform® 700	G 69 6 M21 Mn4Ni1,5CrMo nach EN ISO 16834-A	E 69 6 Mn2NiCrMo B 4 2 H5 nach EN ISO 18275-A	S 69 6 FB SZ3Ni2,5CrMo H5 nach EN ISO 26304-A

Die Wärmeführung beim Schweißen hat einen wesentlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von Schweißverbindungen. Dies kann in der Praxis durch den Temperatur-Zeit-Verlauf  $t_{8/5}$  beschrieben werden. thyssenkrupp hat in aufwendigen Schweißversuchen Verarbeitungsfenster ermittelt, innerhalb derer im Bereich der Schweißverbindungen die bestmöglichen Eigenschaften erreicht werden. Die  $t_{8/5}$ -Fenster von perform® sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

**Tabelle 2:  $t_{8/5}$ -Fenster von perform®**

	$t_{8/5}$ min [s]	$t_{8/5}$ max [s]
<b>Stahlsorten</b>		
perform® 300 bis perform® 600	5	20
perform® 650 bis perform® 700	5	15

Bei perform® mit höherer Streckgrenze ist eine höhere Sorgfalt anzuwenden als bei niedrigfesten Varianten. Wir empfehlen oberhalb einer Streckgrenze von 600 MPa eine Abkühlzeit  $t_{8/5}$  zwischen 5 s und 10 s anzustreben, unter anderem um das Festigkeitspotential der Zusatzwerkstoffe optimal auszunutzen. In vielen Fällen kann die Berechnung der Abkühlzeit nicht mit hinreichender Genauigkeit erfolgen, unter anderem bei komplexen Geometrien oder der Anwendung von modifizierten Lichtbogenschweißverfahren.

In diesen Fällen empfiehlt es sich, die Abkühlzeit durch das Einstecken eines Thermoelements in das flüssige Schweißgut zu messen. Der Zusammenhang zwischen den Schweißbedingungen und den mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindungen ist detailliert im SEW088 beschrieben. Dort finden sich auch weitere Hinweise für die Anwendung des Abkühlzeitkonzeptes in der Praxis.

Aufgrund ihres geringen Anteils an Legierungselementen kann auf eine Vorwärmung vor dem Schweißen von perform® häufig verzichtet werden, jedoch sollte dies im Einzelfall geprüft werden. Grundsätzlich wird empfohlen die Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur bei perform® auf 150 °C zu beschränken, wobei die Sensibilität mit steigender Streckgrenze zunimmt. Details zur Wärmeführung beim Schweißen und zur Berechnung der Mindest-Vorwärmtemperatur beim Schweißen sind dem SEW 088 entnehmen. Zur Vereinfachung der Berechnung hat thyssenkrupp die Software ProWeld entwickelt, welche nach Registrierung kostenlos im Internet unter [https://online.thyssenkrupp-steel.com/ecmlogin/proweld\\_register.do](https://online.thyssenkrupp-steel.com/ecmlogin/proweld_register.do) zur Verfügung steht.

## Laserstrahlschweißen

Besonders bei automobiltypischen Dicken findet häufig das Laserstrahlschweißen Anwendung. Dieses zeichnet sich unter anderem durch die Einbringung einer relativ geringen Streckenergie und damit durch eine hohe Abkühlgeschwindigkeit der Fügezone aus. Aufgrund des geringen Gehaltes an Kohlenstoff und weiteren Legierungselementen ist bei perform® auch beim Laserstrahlschweißen eine im Vergleich zu höher legierten Stählen geringe Aufhärtung zu erwarten.

Aus Gründen des Arbeitsschutzes, der verfahrensbedingten hohen Schweißgeschwindigkeit sowie des kleinen Schmelzbades ist eine Messung der  $t_{8/5}$ -Zeit nur schwer umsetzbar, so dass sich die Ermittlung der Eigenschaften der Verbindung an bauteilnahen Geometrien empfiehlt. Grundsätzlich zeichnen sich laserstrahlgeschweißte Verbindungen durch eine hohe Güte und Festigkeit aus, dies gilt auch für Verbindungen aus perform®.

## Betriebsfestigkeit und Crashverhalten

Im Vergleich zu Tiefziehstählen werden für mikrolegierte Stähle erhöhte Mindestwerte für Streckgrenzen und Zugfestigkeit zugesichert. Durch diese Eckdaten ist eine sichere und praxisgerechte Betriebsfestigkeitsbewertung möglich. Mikrolegierte Stähle werden in verschiedenen Festigkeitsstufen angeboten. Mit höherer Streckgrenze und Zugfestigkeit steigt auch das Schwingfestigkeitsniveau.

Parallel zu der Festigkeitszunahme verringert sich tendenziell die Umformbarkeit, so dass an dieser Stelle durch den auslegenden Konstrukteur und den Fertigungsplaner ein sinnvolles Optimum gefunden werden muss. Mikrolegierte Stähle sind die konventionell eingesetzten Werkstoffe für Schalenbauteile und Strukturbauteile.

### Allgemeiner Hinweis

Angaben über die Beschaffenheit oder Verwendbarkeit von Materialien beziehungsweise Erzeugnissen dienen der Beschreibung. Zusagen in Bezug auf das Vorhandensein bestimmter Eigenschaften oder einen bestimmten Verwendungszweck bedürfen stets besonderer schriftlicher Vereinbarung. Technische Änderungen vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der thyssenkrupp Steel Europe AG.