



DOGAL<sup>®</sup>

## Hochfeste korrosionsbestän- dige Stähle

**SSAB**  
SWEDISH STEEL



Dogal ist ein feuerverzinktes Produkt und ein eingetragenes Warenzeichen von SSAB Tunnpilät AB. SSAB Tunnpilät zählt zu den führenden europäischen Herstellern von hochfesten Stählen.

Diese Broschüre bietet eine umfassende Darstellung unserer feuerverzinkten extra- und ultrahochfesten Dogal Stählen.

Entdecken Sie, wie höhere Festigkeit und verbesserter Schutz vor Korrosion zu besseren Produkten, effizienterer Produktion und verbesserter Wettbewerbsfähigkeit führen.

Dogal hochfeste Stahlgüten besitzen eine Vielzahl gewinnbringender Eigenschaften.

## INHALT

- 4–7      Verbinden Sie gute Korrosionsbeständigkeit mit höchster Festigkeit**
- 8–9      ULSAB-Projekte**
- 10–13   Produktprogramm**  
Abmessungen, Beschichtungen, Oberflächenbeschaffenheit, Oberflächenbehandlung, Toleranzen
- 14–23   Technische Eigenschaften**  
Scheren und Stanzen, Laserschneiden, Umformen, Ziehen, Flanschen, Biegen, Walzen, Grenzverformungsdiagramm, Rückfederung, Energieaufnahme, Stoß- und Schlagfestigkeit, Materialermüdung, Schweißen, Hartlöten
- 24–27   Korrosion**
- 28–29   Oberflächenbehandlung**
- 31–33   Empfehlungen zu Werkzeugstählen**
- 35        Was sollten Konstrukteure beachten?**

Sitzverstärkung, Dogal 800 DP.



## Verbinden Sie gute Korrosions- beständigkeit mit höchster Festigkeit

Sie müssen sich nicht länger zwischen optimaler Korrosionsbeständigkeit und den vielen Vorteilen hochfester Stahlgüten entscheiden.

Die feuerverzinkte Güte Dogal von SSAB Tunnpålt verbindet gute Korrosionsbeständigkeit mit höchster Festigkeit.

Dogal hochfeste Stähle bieten eine Vielzahl an Eigenschaften, die zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit beitragen können.

### Dogal 1000 DP

Mit der von uns entwickelten Stahlgüte Dogal 1000 DP setzen wir neue Maßstäbe bei der Gewinnung von hochfestem feuerverzinktem Stahl. Dogal 1000 DP bietet eine Mindestzugfestigkeit von 980 N/mm<sup>2</sup>.

Diese hohe Festigkeit unserer Dogal Stähle können Sie auf unterschiedlichste Weise nutzen, beispielsweise um die Materialdicke zu verringern und damit Gewicht zu sparen.

Im Fahrzeugbau führt dies zu geringerem Kraftstoffverbrauch und einer deutlichen Entlastung der Umwelt während der gesamten Lebensdauer Ihres Fahrzeugs.

Gewichtsreduzierung bedeutet dabei auch geringen Materialverbrauch. Ihr Vorteil: gesenkte Materialkosten bei gleichzeitiger Steigerung der Produktivität.

### Erhöhen Sie die Sicherheit bei reduziertem Gewicht

Die höhere Festigkeit kann bei Fahrzeugen eine deutliche Steigerung der Aufnahme von Aufprallenergie zur Folge haben.

Durch den Einsatz von hochfestem Dogal in Teilen wie Längsträgern und Seitenaufprallschutz wird die Fahrzeugsicherheit erhöht – ohne das Gewicht zu erhöhen, sondern es unter Umständen sogar zu senken. Das Ergebnis ist ein wesentlich sichereres und wettbewerbsfähigeres Fahrzeug.

Hochfeste Dogal Stähle verbinden gute Korrosionsbeständigkeit bei höchstmöglicher Festigkeit mit äußerst geringem Gewicht und hoher Energieaufnahme.

### Pressen statt Schweißen

Dogal besitzt die vorzüglichen Eigenschaften kaltgewalzter hochfester Stähle.

Die einzigartige Kombination von hoher Festigkeit und ausserordentlicher Umformbarkeit kann zur deutlichen Verbesserung des Produktionsablaufs führen.

Statt aus vielen Teilen ein Produkt zu schweißen, kann es nun gepresst und mit nur wenigen Arbeitsgängen zum Endprodukt umgeformt werden.

Dabei werden die Schweißkosten gesenkt und die Qualität des fertig gestellten Teils verbessert.

Die gute Verformbarkeit lässt darüber hinaus mehr Spielraum, die Konstruktion zu optimieren, was fast immer weniger benötigte Einzelteile bedeutet. Dies wiederum bringt logistische Vorteile und reduziert den Ausschuss. All dies trägt zu einer höheren Wirtschaftlichkeit in der Produktion bei.

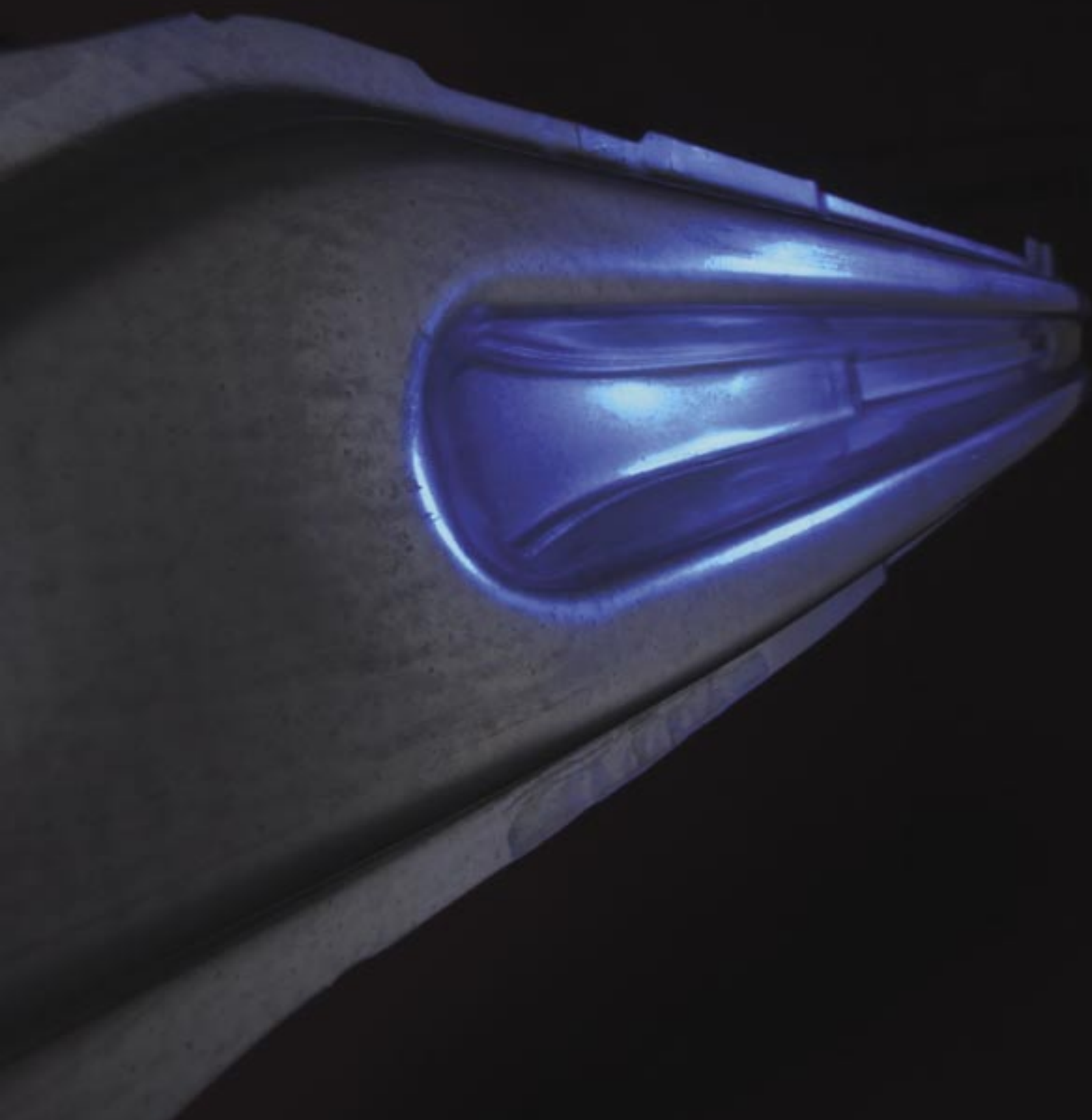
### Verlängern Sie die Lebensdauer Ihres Produkts

Neben der besonderen Korrosionsbeständigkeit bringt die feuerverzinkte Oberfläche auch fertigungstechnische Vorteile.

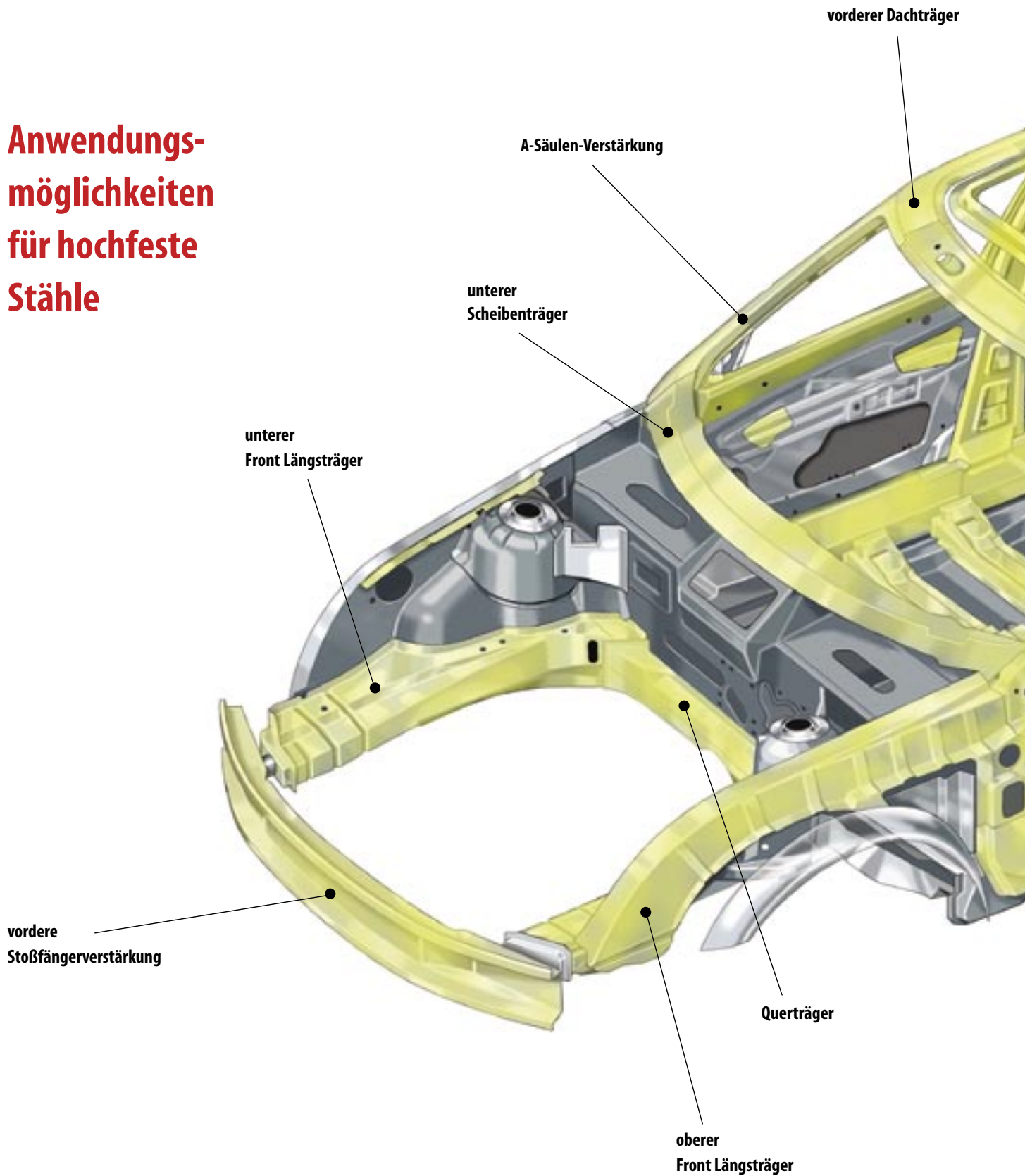
Durch die Anwendung von Dogal sparen Sie Kosten und Zeit, die für das Feuerverzinken der einzelnen Teile benötigt werden. Der Wechsel zu Dogal hat oftmals zur Folge, dass die Kosten für die Behandlung zur Korrosionsbeständigkeit im Vergleich zur Feuerverzinkung einzelner Teile mehr als halbiert wird.

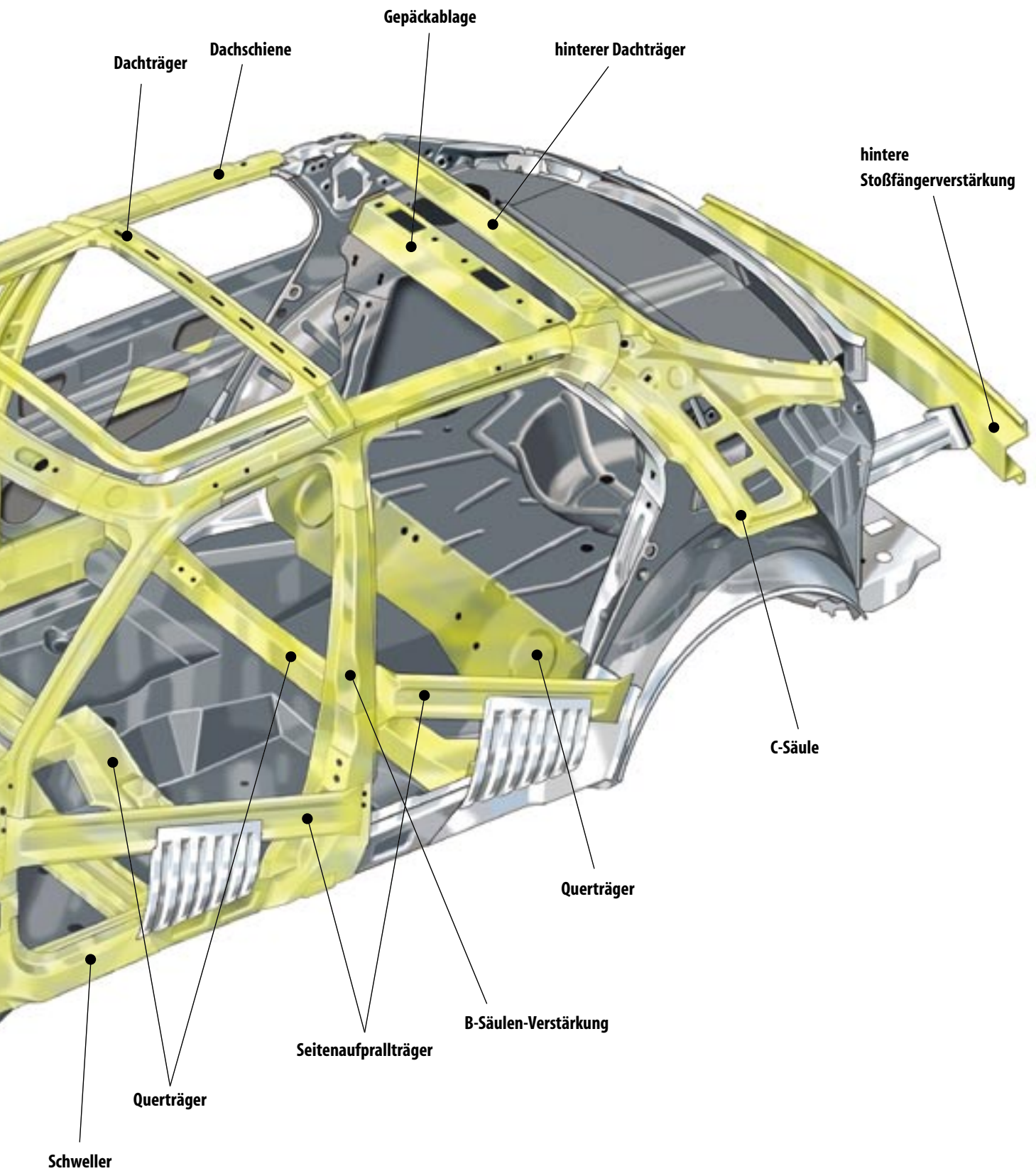
Durch die Kombination aus guter Korrosionsbeständigkeit und hoher Festigkeit verlängert Dogal die nutzbare Lebensdauer der Produkte und reduziert dabei den Bedarf an Instandhaltung und Wartung.

Diese Broschüre bietet eine detaillierte Erläuterung der Eigenschaften hochfester Dogal Stahlgüten, die Ihnen Wettbewerbsvorteile sichern.



## Anwendungs- möglichkeiten für hochfeste Stähle







## ULSAB-Projekte

Das Aussehen und die Eignung zur Fertigung sind nicht die einzigen Anforderungen der verarbeitenden Industrie – Sicherheit, ökonomische Auflagen und eine Reihe weiterer Bedürfnisse müssen ebenso berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund hat die internationale Stahlindustrie eine Reihe von Projekten ins Leben gerufen, deren Zweck die Vorstellung neuer, stahlintensiver Konstruktionen ist, die den Anforderungen der Automobilindustrie gerecht werden.

### ULSAB

Die ultraleichte Stahlkarosserie – ULSAB war das erste dieser Projekte, das 1994 gestartet wurde um aus Stahl gefertigte Autokarosserien zu untersuchen. In einem ganzheitlichen Ansatz wurden über 90% der modernen hochfesten Stahlgüten, hochdruckumgeformte und zugeschnittene Bleche verwendet. Es gelang der Stahlindustrie zu veranschaulichen, dass moderne Fahrzeugkarosserien eben-

so fest, steifer und etwa 25% leichter hergestellt werden konnten als die zu jener Zeit handelsüblichen Karosserien. Darüber hinaus bewies das Projekt, dass eine derartige Karosserie in der Serienproduktion zu gleichen Kosten gefertigt werden kann wie herkömmliche Karosserien. Dieses Projekt trug zu einer deutlichen Steigerung der Verwendung von hochfesten Stahlgüten und Tailored Blanks in der Automobilindustrie bei.

### ULSAC

Die internationale Stahlindustrie startete daraufhin 1998 das Projekt für ultraleichte Außenhautkomponenten aus Stahl – ULSAC, um zu demonstrieren, dass dieselben Ergebnisse auch bei Türen und Hauben erzielt werden konnten. Die ausgewählten Konstruktionen zeigten, dass zeitgemäße und sichere Türen mit hochfesten Stählen und hochentwickelten Fertigungsmethoden produziert werden können. Dabei ist das Gewicht um etwa 42%

leichter als bei Türen aus herkömmlichen weicheren Güten. Des Weiteren können die Türen auch zu angemessenen Kosten in Massenfertigung produziert werden.

### ULSAS

Um den Umfang der Anwendungsmöglichkeiten hochfester Stähle beim Fahrwerk und der Aufhängung zu verdeutlichen, wurde im Anschluss das Projekt für ultraleichte Federungen aus Stahl – ULSAS initiiert. Verschiedene stahlintensive leichte Konstruktionen wurden ebenfalls im Rahmen des Projekts vorgestellt.

### ULSAB-AVC

Diese drei Projekte umfassten etwa ein Drittel des Fahrzeuggewichts. Das Projekt ULSAB-AVC (AVC steht hierbei für hochentwickelte Fahrzeugstudien) wurde aus der Taufe gehoben um die Möglichkeiten aufzuzeigen, die moderne hochfeste Stähle in Bezug auf Sicherheit, kostengünstige Konstruktionen,

ULSAC Türstudie.







ULSAB-AVC Fahrzeugstudie.

verringerten Kraftstoffverbrauch und gesenkten Kohlenstoffausstoß bieten. Mit diesem Projekt wird das gesamte Fahrzeug abgedeckt. Die vorgestellten Konstruktionen sind keineswegs die einzigen Möglichkeiten, sondern vielmehr Beispiele dafür, was durch den Einsatz hochentwickelter hochfester Stähle (AHSS) auf innovative Weise unter Einsatz moderner Fertigungsverfahren erreicht werden kann.

Die Karosserie wiegt nur 218 kg, wobei dieses geringe Gewicht erzielt wurde, ohne die Sicherheit zu ver-

nachlässigen. Das Fahrzeug erfüllt die Sicherheitsvorgaben, die für 2004 gemacht wurden. Die Karosserie besteht aus lediglich 81 Teilen. Ihr Gewicht besteht zu 74% aus DP Güten, beim Gesamtgewicht stellen hochfeste Stähle einen Anteil von 80%.

Der von der EU vorgeschriebene maximal zulässige Kohlendioxid-Ausstoß liegt bei 140 g/km. Die Fahrzeuge des ULSAB-AVC-Projekts haben einen Kraftstoffverbrauch von 3,2-4,5 Litern/100 km, was einem Kohlendioxid-Ausstoß von 86-108 g/km entspricht.

Durch die Anwendung hochfester Stahlgüten können ULSAB-AVC-Fahrzeuge zudem kostengünstig in Massenfertigung produziert werden. Die Herstellungskosten belaufen sich dabei nach Schätzungen auf 10.000 US-Dollar. Das Projekt veranschaulicht, welche vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten fortschrittliche Fertigungsverfahren bieten, die Tailored Blanks, Rohrzuschnitte und Rohre zur Innumformung in Verbindung mit hochfesten Güten umfassen.

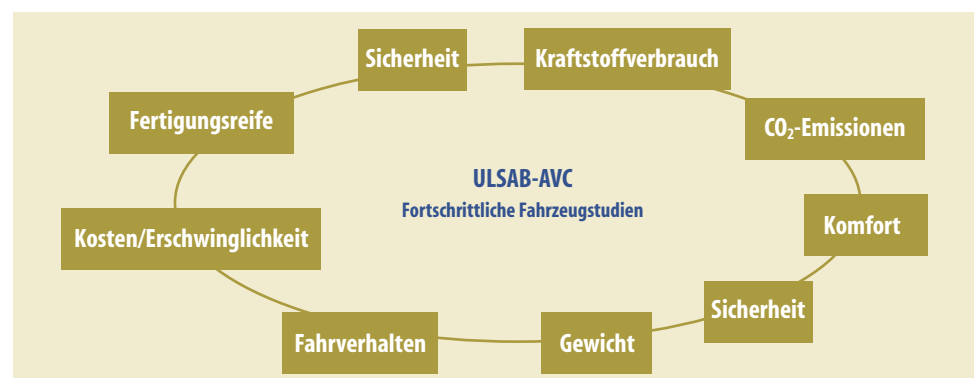


Abb. 1. Es gilt die vielfältigen Anforderungen der Automobilhersteller zu erfüllen.

# Produkt- programm

## Dogal YP Güten

Dogal YP sind mikrolegierte, kaltgewalzte Stahlgüten, die ihre hohe Festigkeit durch den Zusatz sehr kleiner Mengen von Legierungselementen erhalten. Diese Stahlgüten werden nach ihrer Mindeststreckgrenze eingestuft. Der Unterschied zwischen ihrer Streckgrenze und ihrer Zugfestigkeit ist dabei gering. YP Güten besitzen gute Umformbarkeit und Biegebarkeit im Verhältnis zu ihren Streckfestigkeiten.

## Dogal DP Güten

Dogal DP Stahl verbindet hohe Festigkeit mit guten Eigenschaften bei der Streckformbarkeit.

DP Stähle weisen eine geringe Streckgrenze im Verhältnis zu ihrer Zugfestigkeit auf.

## Mikrostruktur von DP Stählen

Die Mikrostruktur der Stähle beinhaltet einen Anteil an Martensit in einer mehrphasigen Mikrostruktur. Neben dem hartphasigen Martensit und dem weichen Ferrit ist auch Bainit vorhanden. Die Festigkeit des Stahls nimmt mit steigendem Anteil der harten martensitischen Phase zu. Der Anteil von Martensit wird durch den Kohlenstoffgehalt des Stahls und dem

Temperaturkreislauf bestimmt, dem der Stahl im stetigen Galvanisierungsprozess ausgesetzt ist.

## Alterung

Dogal DP Stahl altert nicht, was auf die Materialstruktur zurückzuführen ist.

## Kalt- und Warmverfestigung

Eine deutliche Steigerung der Streckgrenze kann durch die Nutzung der spezifischen Eigenschaften von Dogal DP Stählen bei der Kalt- und Warmverfestigung erreicht werden. Die durch eine Verformung von 2% hervorgerufene Kaltverfestigung kann die Streckgrenze von Dogal DP Stahlgüten um etwa 100 N/mm<sup>2</sup> erhöhen. Die Kaltverfestigung hängt stark von der Umformung und der Stahlgüte ab. Durch das 20 Minuten dauernde Aufwärmen des Materials bei 170°C steigert die Warmverfestigung die Streckgrenze um weitere 30 N/mm<sup>2</sup>.

## Pressen und Lackieren

Beim Pressen mit anschließendem Lackieren von Stahlblechteilen können die vorteilhaften Eigenschaften von Dogal DP Stählen hinsichtlich Kalt- und Warmverfestigung genutzt werden. Kaltverfestigung tritt

beim Pressen auf, während Warmverfestigung beim Aushärten der Farbe stattfindet, sofern das Aushärten bei höheren Temperaturen durchgeführt wird.

## Wärmebehandlung

Eine Wärmebehandlung von Dogal sollte vermieden werden. Die Erhitzung kann die Zinkbeschichtung angreifen, was zu dürtigem Erscheinungsbild und einer Minderung der Korrosionseigenschaften führt. Wird der Werkstoff dennoch einmal erhitzt, sollte die Temperatur 200°C nicht übersteigen.

## Abmessungen

Dogal DP Stähle sind in einer Dicke zwischen 0,5 und 2,0 mm und einer Breite von bis zu 1500 mm erhältlich.

Einschränkungen können abhängig von Güte und Dicke bestehen.

## Beschichtungsdicken

Die unterschiedlichen Beschichtungsdicken werden nach Gewicht in g/m<sup>2</sup> auf beiden Seiten unterteilt, das gemäß EN 10 142 mittels Dreipunkt-Test bestimmt wird.

Das Gewicht der Beschichtung ist nicht immer gleichmäßig auf beiden Seiten der Produktoberfläche verteilt. Man darf jedoch davon ausgehen, dass das

Chemische Zusammensetzung (typische Werte)								
Stahlgüte	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Nb %	Cr %	Al (min)
Dogal 450 YP	0.09	0.4	1.3	0.015	0.002	0.035	–	0.015
Dogal 500 YP	0.13	0.4	1.6	0.015	0.002	0.035	–	0.015
Dogal 600 DP	0.11	0.2	1.6	0.015	0.002	–	0.45	0.015
Dogal 600 DPE	0.11	0.2	1.6	0.015	0.002	–	0.45	0.015
Dogal 800 DP	0.15	0.2	1.8	0.015	0.002	0.015	0.45	0.015
Dogal 1000 DP *								

Tabelle 1. \*) In Entwicklung.

## Festigkeitseigenschaften

Stahlgüte	Streckgrenze, $R_{p0,2}$ N/mm <sup>2</sup> min–max	Streckgrenze, $R_{p0,2}+BH$ 170 ° C für 20 min N/mm <sup>2</sup> , min	Zugfestigkeit, $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min–max	Bruchdehnung, $A_{80}$ % min	Empfohlener minimaler Biegeradius für 90 ° Biegung t=Dicke, min
Dogal 450 YP	450-550	–	560-680	14	1xt
Dogal 500 YP	500-600	–	600-730	10	1xt
Dogal 600 DP	350-480	(500)	600-700	16	1xt
Dogal 600 DPE	450-530	(550)	600-750	17	1xt
Dogal 800 DP	500-640	(600)	800-950	10	1xt
Dogal 1000 DP *	660-860	–	980 (min)	6	–

Tabelle 2. \*) In Entwicklung.

## Verzinkung

Gewichtsklasse	Beschichtungsdicke pro Seite* µm	Gewichtsbestimmung auf zwei Seiten, g/m <sup>2</sup>	
		Tripelpunkt-Test	Einzelpunkt-Test
Z 100	(7)	100	85
Z 120	(8)	120	100
Z 140	(10)	140	120
Z 200	(14)	200	170
Z 275	(20)	275	235

Tabelle 3. \*) Die Werte berechnen sich aus den Mindestwerten des Tripelpunkt-Tests (1 µm=7,14 g/m<sup>2</sup>).

Gewicht der Beschichtung auf jeder Oberfläche des Produkts mindestens 40% des Wertes für den Einzelpunkt-Test in der Tabelle entspricht.

Das Gewicht der Beschichtung kann auch mit anderen Methoden ermittelt werden, die Anforderungen wie das Erfüllen der Gewichtsklasse sicherstellen. Im Zweifelsfall sollte das Gewicht jedoch nach den

oben aufgeführten ASTM-Standards bestimmt werden.

## Erscheinungsbild der Oberfläche

Dogal DP Stähle werden mit einer dressierten Oberfläche hergestellt.

## Oberflächenqualität

Dogal DP kann sowohl mit einer normalen Oberfläche (A) oder einer verbesserten Oberfläche (B) geliefert werden.

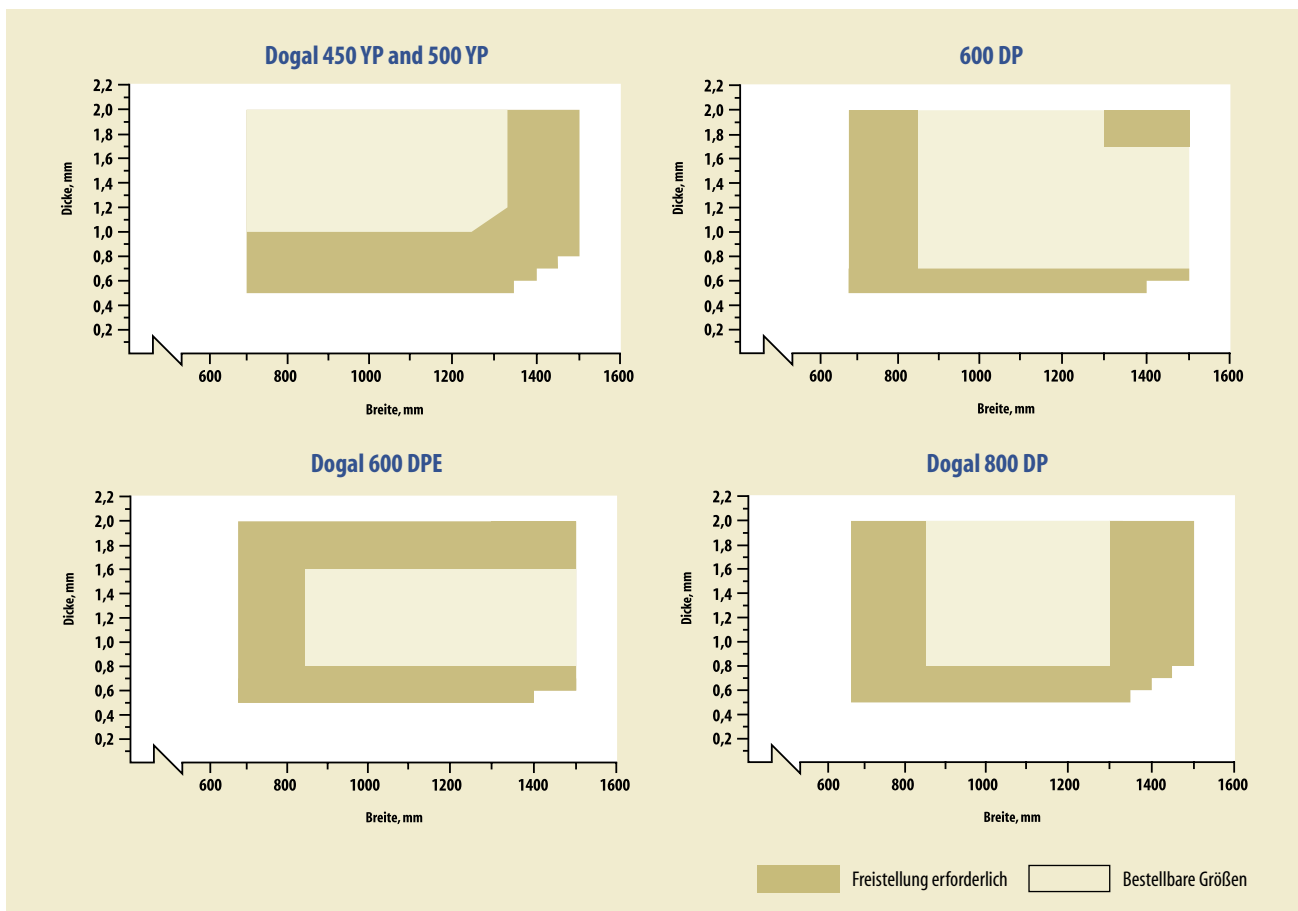
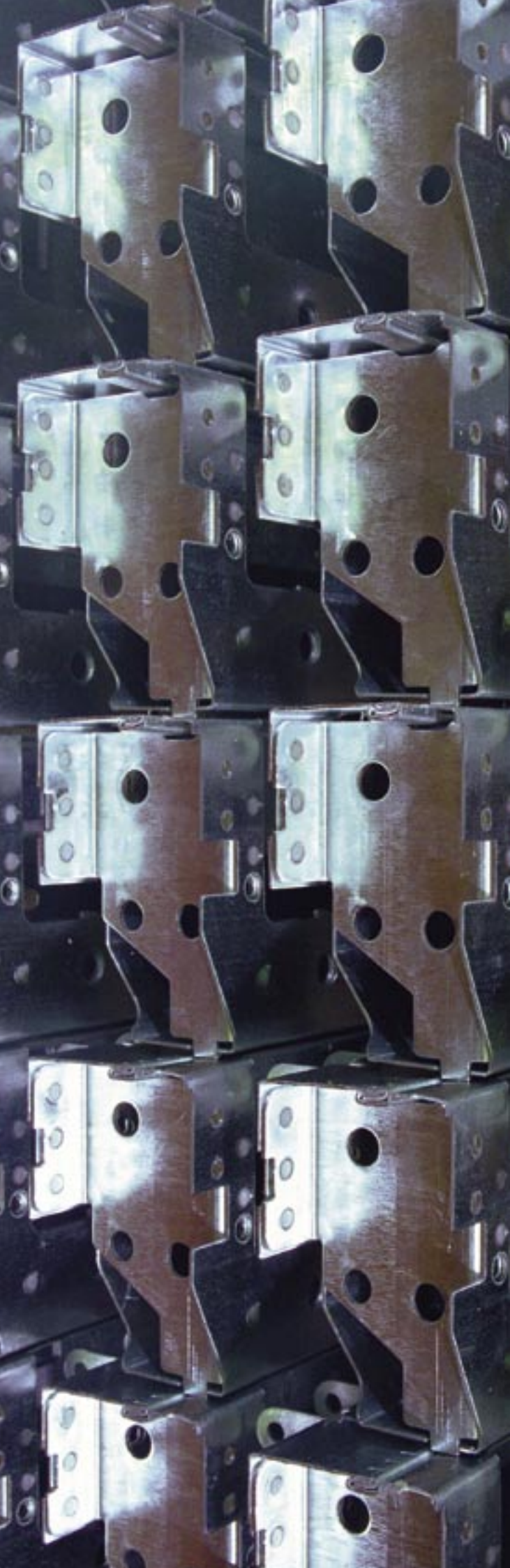


Abb. 2.





**Oberflächenbehandlung**

Dogal wird, wenn nicht anders angegeben, im Fertigstellungsprozess immer mit einem Oberflächenschutz ausgestattet. Die Haltbarkeit dieses Schutzes hängt von den Umgebungsbedingungen während der Lagerung und des Transports ab.

Es gibt vier Arten des Oberflächenschutzes.

Das chemische Passivieren (C) schützt die Oberfläche gegen Feuchtigkeit und verringert das Risiko von Weißrost, der bei Lagerung und Transport auftreten

kann. Chemische Passivierung kann gelegentlich zu Verfärbung und Flecken führen, die akzeptabel sind, da sie die Qualität nicht beeinträchtigen.

Beim Ölen (O) wird das Risiko von Weißrost reduziert, jedoch in einem wesentlich geringeren Maße als bei der chemischen Passivierung. Der Ölfilm kann mit einem entfettenden Mittel entfernt werden, das die Oberfläche nicht beschädigt.

Das chemische Passivieren und Ölen (CO) ist

Breitentoleranzen		
Formatbleche nach EN 10 143/93.		
Nennbreite mm	Toleranz, mm	
	Standard	Spezial
650 – 1200	0/+5	0/+2
1201 – 1500	0/+6	0/+2

Tabelle 4.

Kantenwölbung	
nach EN 10 143/93.	
Messlänge mm	q, mm max
2000	6

Tabelle 5. Bei Längen unter 2 m sollte die Kantenwölbung 0.3% der tatsächlichen Länge nicht überschreiten.

Rechtwinkligkeit
Formatblech (u), nach EN 10 143/93.
Maximale Abweichung = 1% der Nennbreite des Bleches

Tabelle 6.

Ebenheit		
Maximale Abweichung zwischen ebener Oberfläche und aufliegendem Blech nach EN 10 143/93.		
Nennstärke mm	Breite mm	Max. Abweichung mm
– 0.70	< 1200	8
	1200 – 1500	9
(0.70) – 1.20	– 1200	6
	(1200) – 1500	8
(1.20) – 2.00	– 1200	5
	(1200) – 1500	6

Tabelle 7. Die Toleranz gilt auch für im Werk des Kunden der Länge nach zugeschnittene Bleche, wenn das Richten an geeigneten Richtmaschinen durchgeführt wird.

eine Kombination aus Oberflächenbehandlungen, die den Korrosionsschutz verbessert und auf Anfrage erhältlich ist.

Dogal Stähle können auch *unbehandelt (U)* geliefert werden. Da dies jedoch das Risiko von Weißrostbildung in sich birgt, bietet SSAB Tunnplät diese Möglichkeit nur auf ausdrücklichen Wunsch und eigenes Risiko des Kunden an.

Toleranz bei der Dicke (einschließlich Metallbeschichtung)				
Nennstärke	Normale Toleranz bei Nennbreiten		Spezielle Toleranz bei Nennbreiten	
	≤ 1200	> 1200 ≤ 1500	≤ 1200	> 1200 ≤ 1500
≤ 0,40	± 0,06	± 0,07	± 0,04	± 0,05
> 0,40 ≤ 0,60	± 0,07	± 0,08	± 0,05	± 0,06
> 0,60 ≤ 0,80	± 0,08	± 0,09	± 0,06	± 0,07
> 0,80 ≤ 1,00	± 0,09	± 0,11	± 0,07	± 0,08
> 1,00 ≤ 1,20	± 0,11	± 0,12	± 0,08	± 0,09
> 1,20 ≤ 1,60	± 0,13	± 0,14	± 0,09	± 0,11
> 1,60 ≤ 2,00	± 0,15	± 0,15	± 0,11	± 0,12

Tabelle 8. Anwendbar auf Güten mit einer Streckgrenze von  $\geq 280 \text{ N/mm}^2$  gemäß EN 10 143/93.

Längentoleranz				
Auf Länge zugeschnittenes Blech nach EN 10 143/93.				
Nennlänge (L) mm	Normal		Speziell (S)	
	minus mm	plus mm	minus mm	plus mm
< 2000	0	6	0	3
≥ 2000	0	0.003 x L	0	0.0015 x L

Tabelle 9.

Beschichtungen			
Gewichtsklasse	Gewichtsstärke pro Seite* µm min	Gewichtsbestimmung auf beiden Seiten, g/m <sup>2</sup>	
		Tripelpunkt-Test min	Einzelpunkt-Test min
Z 100	(7)	100	85
Z 140	(10)	140	120
Z 200	(14)	200	170
Z 275	(20)	275	235

Tabelle 10. Der Werkstoff muss einer der aufgelisteten Gewichtsklassen entsprechend beschichtet sein.

\* Die Werte berechnen sich aus den Mindestwerten des Tripelpunkt-Tests. (1 µm = 7.14 g/m<sup>2</sup>)





## Technische Eigenschaften

### Scheren und Stanzen

Beim Scheren von hochfesten Werkstoffen muss der Schervorgang dem Härtegrad, der Dicke und der Scherfestigkeit des Stahls, der Konstruktion, der Steifigkeit und der Abnutzung der Hochleistungsscheren oder der Maschine angepasst werden. Entscheidend ist dabei der richtige Schneideabstand der Hochleistungsscheren. Der Schneideabstand wird durch die Blechdicke, die Festigkeit des Stahls und die Anforderung an das Aussehen der Scherkante bestimmt. Je dicker der Werkstoff und seine Festigkeit, desto größer muss der Schneideabstand sein. Ein Abstand von 6% der Stahldicke wird gewöhnlich für weiche und halbweiche Stahlgüten benutzt. Für Dogal DP Güten wird ein Schneideabstand von etwa 8-10% der Blechdicke empfohlen. Ein größerer Abstand ergibt eine sauberere Schnittstelle, aber auch eine bedeutend größere Umrollkante.

Die Schneidekraft in Newton kann mit untenstehender Formel berechnet werden:

$$F = \frac{K_{sk} \cdot t^2}{2 \cdot \tan \beta}$$

F = Schnittkraft (N)  
K<sub>sk</sub> = Schnittfestigkeit  
(e-fache Zugfestigkeit)  
β = Schnittwinkel der  
Hochleistungsscheren  
t = Blechdicke

Der Faktor e ändert sich mit der Zugfestigkeit des Werkstoffes. Weiche Güten wie Dogal F 30 besitzen e = 0.8, während Dogal 800 DP e = 0.6 aufweist. Die nötige Schneidekraft steigt mit der Zugfestigkeit. Ein Wechsel zu einer Stahlgüte mit höherer Festigkeit führt in der Regel zu geringerer Dicke, wobei die nötige Schneidekraft erheblich verringert wird. Eine abgeschrägte Stanze kann den nötigen Kraftaufwand um bis zu 50% senken.

Der Schneideabstand ist für die Abnutzung während des Stanzens von großer Bedeutung. Ein geringerer Abstand führt zu stärkerem Verschleiß der Werkzeuge, so dass diese häufiger geschliffen werden müssen.

### Laserschneiden

Aus Dogal DP hergestellte Stahlkomponenten können oftmals komplizierte geometrische Formen besitzen. Diese können durch Laserschneiden erreicht werden, ohne dass eine Nachbearbeitung erforderlich ist. Durch das Laserschneiden werden außerordentlich gute Schneidergebnisse, vor allem bei der Qualität der Schneidkante und bei der Maßgenauigkeit, erzielt. Um eine gute Schneidleistung zu erhalten, müssen hohe Anforderungen, sowohl an Arbeitsgeräte und Schneidparameter, als auch an den Werkstoff des Werkstücks gestellt werden.

### Testergebnisse

In den letzten Jahren erfreute sich das Laserschneiden wachsender Beliebtheit. SSAB Tunnplåt hat daher die Laserschneideeigenschaften von Dogal 800 DP untersucht. Dabei wurden eigene Studien ebenso ausgewertet wie die gesamten Erfahrungen von Unternehmen, die mit Laserschneiden arbeiten.

Die Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- bei Dogal DP Güten werden die besten Ergebnisse erzielt, wenn das gleiche Schneidegas (N<sub>2</sub>) und dieselben Parameter verwendet werden wie für Edelstahl
- Dogal DP Stähle entsprechen dem Standard für eine der höchsten Klassen gemäß EN ISO 9013. Dies gilt sowohl für die Oberfläche als auch für die Konizität.
- Dogal DP Stähle sind frei von Makro-Einschlüssen, die sich nachteilig auf das Schneidergebnis auswirken können.
- Abweichungen bei der Härte treten nur in nächster Nähe zur Kante auf. Der Wärmeeinflussbereich des Laserschneidens (siehe Abb. 3) liegt so nahe an der Kante und ist so schmal, dass er durch den nachfolgenden Schweißvorgang beseitigt wird.





Härtekurve nach Laserschneiden von Dogal 800 DP Stahl

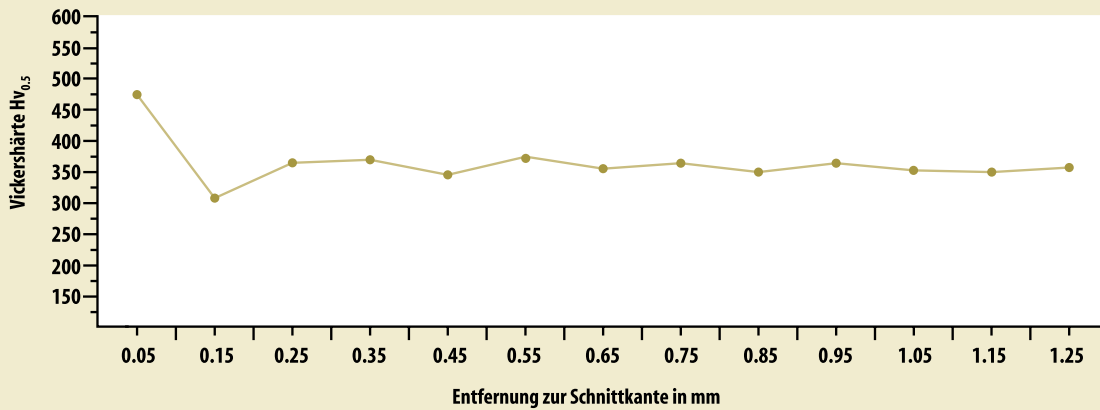


Abb. 3.

### Umformen

Trotz ihres hohen Härtegrades bieten Dogal DP Güten gute Umformbarkeit und können auf herkömmliche Weise umgeformt werden. Die im Vergleich zu weichen Stahlgüten deutlich schlechtere Umformbarkeit kann in fast allen Fällen durch Änderungen bei der Konstruktion des Bauteils wettgemacht werden.

Dogal DP Stähle weisen sehr gute kaltverfestigende Eigenschaften auf, die den Hauptgrund für die gute Umformbarkeit dieser Werkstoffe darstellen. Wenn Sie

Dogal DP mit Dogal YP desselben Festigkeitsgrades (noch dazu mit besserer Dehnung) vergleichen, werden Sie bei Dogal DP Güten gleichwertigere oder bessere Umformbarkeit feststellen.

Die Kantendehnbarkeit von YP Stählen ist deutlich besser als die der DP Güten.

### Streckformen

Beim Streckformen ist der Werkstoff durch den Blechhalter festgespannt, so dass jegliche Verformung durch die Stanze stattfindet. Der Werkstoff wird einer zweiachsigen Dehnung ausge-

setzt und somit seine Dicke verringert. Bei übermäßiger lokaler Belastung kommt es zum Bruch. Die Streckzieheigenschaften hängen hauptsächlich von der Fähigkeit des Werkstoffes ab, die Belastung zu verteilen.

Es besteht ein enges Verhältnis zwischen den Streckzieheigenschaften des Werkstoffes und seinen kaltverfestigenden Eigenschaften. Höhere Kaltverfestigung des Werkstoffes bedeutet eine günstigere Verteilung der Belastung und damit bessere Streckzieheigenschaften. Da Dogal DP einer

hohen Kaltverfestigung unterzogen wird, besitzt der Werkstoff auch bessere Streckzieheigenschaften als andere Stahlgüten von vergleichbarer Festigkeit.

### Tiefziehen

Beim Tiefziehen wird das Blech komplett oder zum größten Teil durch die Pressform gedrückt, wobei der Druck des Blechhalters so eingestellt ist, dass ein Falten verhindert wird. Die Fähigkeit des Werkstoffes, Ziehen zu widerstehen, hängt grundsätzlich von zwei Faktoren ab:

### Streckformen

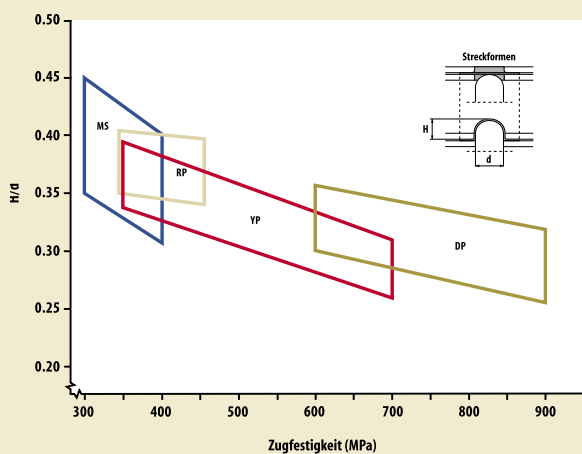


Abb. 4. Streckformbarkeit,  $H/d$ , als eine Funktion der Zugfestigkeit weicher Stähle (MS) und Dogal YP, RP und DP Stahlgüten. Die Abbildung verdeutlicht die gute Streckformbarkeit von Dogal DP Stählen.

### Tiefziehen

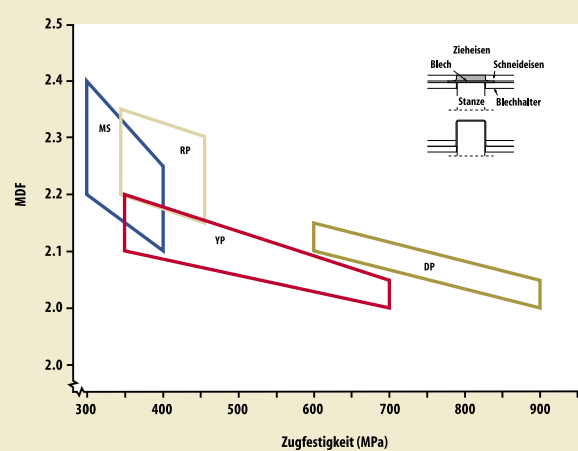


Fig. 5. Zugbegrenzungsverhältnis (LDR) als eine Funktion der Zugfestigkeit weicher Stähle (MS) und Dogal YP, RP und DP Stahlgüten.



Die Bilder veranschaulichen die gute Ziehfähigkeit der Dogal DP Stähle.

- Fähigkeit des Werkstoffs sich plastisch auf der Ebene des Blechs zu verformen, d.h. wie leicht das Flanschmaterial fließt und sich während des Ziehens zum Seitenwand-Werkstoff hin verändert.
- Der Werkstoff der Seitenwand muss plastischer Verformung in der Dickenrichtung widerstehen können um das Risiko eines Bruchs zu verringern. Die Ziehfähigkeit von Dogal DP Stählen ist gleichwertig oder etwas besser als bei anderen Stahlgüten von vergleichbarer Festigkeit.

### Flanschen

Das Verhältnis des Durchmessers der Bohrung vor und nach dem Flanschen wird als Flanschverhältnis bezeichnet.

Die Bleche sollten so positioniert werden, dass der Schergrat der Stanze zugelegt ist. Zum einen, weil die Randfasern des Werkstoffes die stärkste Verformung erfahren und zum anderen, weil ein Kaltumformen während des Abscherens die Dehnbarkeit der Schnittkante senkt.

Da sich die Randfasern eines dünnen Werkstoffes weniger verformen als bei einem dicken Werkstoff, kann ein dünner Werkstoff einem größeren Flanschverhältnis widerstehen als ein dicker bei gleichem Innendurchmesser der Flanschbohrung.

Profilgewalzter Querschnitt aus Dogal DP.

### Biegen

Beim Biegen wirkt ein Biegemoment auf das Blech, so dass seine Außenseite einer Zugdehnung ausgesetzt ist, während die Innenseite komprimiert wird. Die Biegsamkeit von Dogal DP Stählen ist ebenso gut oder besser als bei anderen Werkstoffen von vergleichbarer Festigkeit. Ein mehrmaliges Biegen von Dogal 800 DP Stahl sollte möglichst vermieden werden, da dies das Risiko eines Bruches erhöht.

### Profilwalzen

Das Profilwalzen ist ein Verfahren der Umformung, das sich gut für Dogal DP Güten eignet. Der Prozess ist für den Werkstoff weniger belastend als das Biegen mittels Abkantpresse und ermöglicht damit die Herstellung von Profilen mit anspruchsvollen Querschnitten und geringen Radien.

Das Profilwalzen kann mit parallel oder nachfolgend angewendeten Verfahren wie Stanzen, Schweißen und Biegen kombiniert werden.

Wegen ihrer hohen Festigkeit weisen Dogal DP Güten eine höhere Rückverformung auf als weicher Stahl. Dies trifft auch auf das Profilwalzen zu. Daher muss eine für weiche Werkstoffe vorgesehene Fertigungsstraße für gewöhnlich an die hohe Festigkeit der Dogal DP Stähle angepasst werden.

### Zugversuchskurven

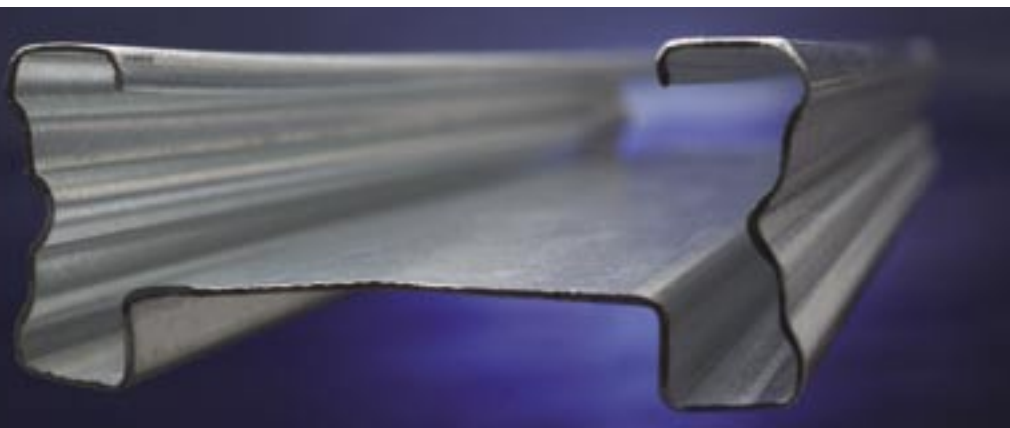
Aus herkömmlichen Zugversuchen gewonnene Kurven können auf unterschiedliche Arten des Analyseverfahrens Finite-Elemente-Methode (FEM) angewendet werden. Dazu zählen Berechnungen zur Traglast oder der Energieaufnahme eines in Entwicklung befindlichen Bauteils. Auf Kurven zur wahren Beanspruchung/Dehnung werden die Beanspruchungs- und Dehnungsabstufungen durch die Flächenreduzierung während des Versuchs ausgeglichen. Stahl mit höherer Festigkeit weist bei einer gegebenen Dehnung eine größere Beanspruchung auf.

### Grenzformdiagramme

Das Grenzformdiagramm (FLC) verdeutlicht das Ausmaß der Verformung, welcher der Werkstoff zu bestimmten Verformungsbedingungen oder auf einem bestimmten Verformungsweg standzuhalten vermag.

Die FLC kann zu Dokumentationszwecken oder als Hilfe zur Lösung komplexer Umformungsverfahren genutzt werden.

Ein eckiges Raster wird auf eine Probe des Werkstoffes geätzt, die daraufhin umgeformt wird. Die Größenveränderung wird in zwei Richtungen gemessen: die größte, genannt  $\Sigma$ -max, und jene im rechten Winkel zu dieser Richtung, genannt  $\Sigma$ -min. Bei positiver Veränderung in beide Richtungen spricht man bei diesem Vorgang von Streckformen und ist auf dem FLC-Schaubild (Abb. 7) rechts der Nulllinie dargestellt. Die Werte mit negativem  $\Sigma$ -min und posi-



### Zugversuchskurven

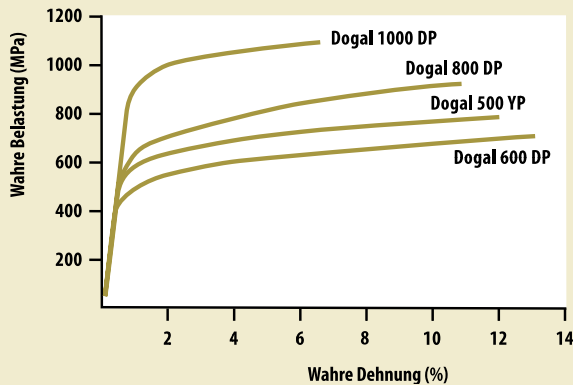


Abb.6. Die Auswirkungen der Kaltverfestigung differieren zwischen YP und DP Stahlgüten. Beispielsweise besitzen Dogal 800 DP und 500 YP etwa die gleiche Streckgrenze, während es bei der Zugfestigkeit deutliche Unterschiede gibt. Dies beeinflusst unter anderem die Energieaufnahmekapazität und die Umformbarkeit.

tivem  $\Sigma$ -max sind links der Nulllinie abgebildet und kennzeichnen einen Ziehvorgang.

Die Kurven hängen von der Dicke des Werkstoffes ab und müssen somit für die entsprechenden Dicken neu berechnet werden. Die Ergebnisse eines gegebenen Umformverfahrens sind auf dem Schaubild abgebildet und werden mit der Werkstoff-Kurve verglichen. Liegt das Ergebnis unterhalb der Kurve, so kann der Werkstoff der Verformung widerstehen.

weichem Stahl zu Güten mit höherer Festigkeit zu. Rückfederung wird nicht nur von der Festigkeit des Werkstoffes beeinflusst, sondern auch von den eingesetzten Werkzeugen. Eine Zunahme an Festigkeit, Stanradius (R) oder Breite der Formöffnung (W) führt zu größerer Rückfederung. Ebenso ergibt sich aus einer verringerten Dicke bei gleich bleibendem Radius eine Zunahme der Rückfederung. Sie kann durch Steigerung der plastischen Verformung des Werkstoffes an der Biegung ausgeglichen werden. Dies wird entweder durch Überbiegen des Werkstoffes oder

### Rückfederung

Die Rückfederung nimmt mit dem Übergang von

### Wahre Dehnung bei Dogal DP Stählen (Umformungsgrenzkurven)

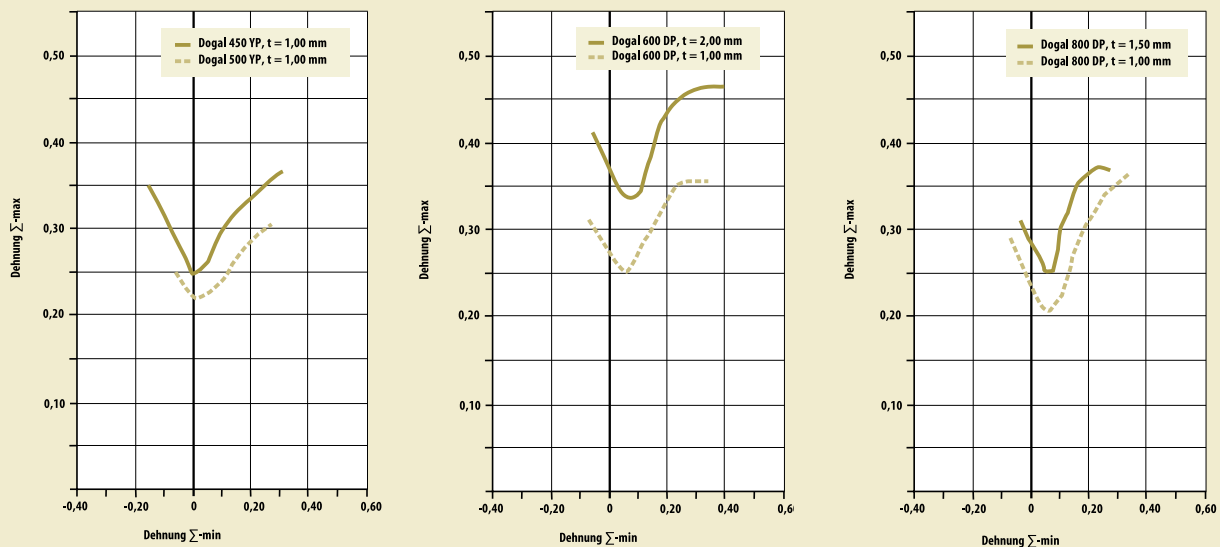


Abb.7. t = Dicke

### Rückfederung von Dogal YP Stählen

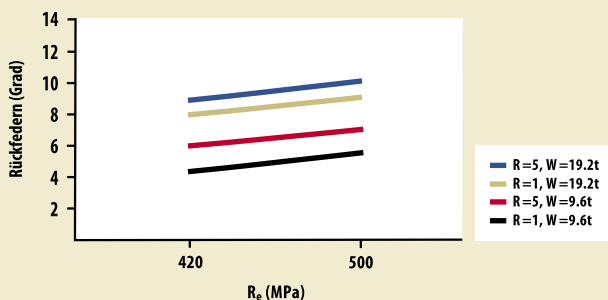


Abb.8. Biegen um 90 Grad (t=1.25 mm).

### Rückfederung von Dogal DP Stählen

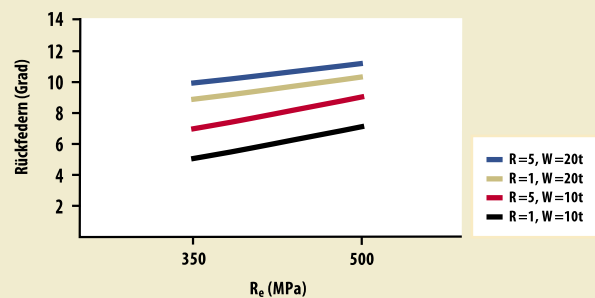


Abb.9. Biegen um 90 Grad (t=1.20 mm).



### Energieaufnahme von Rohren aus unterschiedlichen Werkstoffen

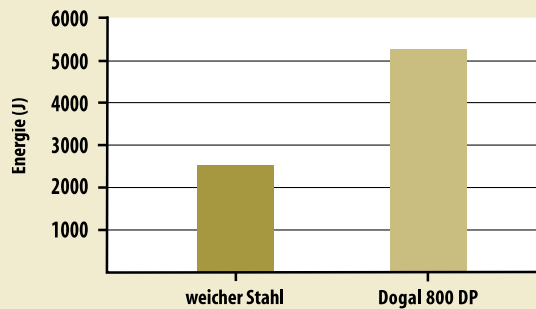


Abb. 10. Das Schaubild zeigt die Energieaufnahmekapazität 60x60x1,2 mm dicker rechteckiger Rohre. Das Rohr wurde mit langsamer Geschwindigkeit um 150 mm komprimiert. Dabei absorbierte es 5200 J, was der Energie eines 100 kg schweren Körpers entspricht, der aus 5,3 Metern fallen gelassen wird.

durch Verringerung des Stanzzradius oder der Breite der Formöffnung erreicht. Die Rückfederung kann auch durch den Einsatz von Versteifungselementen reduziert werden.

#### Rohrwalzen und Profilwalzen

Rohrwalzen und andere Profilwalzverfahren sind typische Anwendungen, bei denen die Kaltumformungseigenschaften von



Zusammengepresster Träger aus Dogal 800 DP.

Dogal DP optimal genutzt werden können.

Bei diesen Vorgängen findet eine gesteuerte Verformung statt, die zu einer erhöhten Streckgrenze und Zugfestigkeit des fertigen Bauteils führt.

Da die Größenordnung der Verformung bekannt und gesteuert ist, kann die gesteigerte Festigkeit bei der Formgebung des fertigen Bauteils genutzt werden. Wenn die fertig bearbeiteten Teile wärmebehandelt werden, beispielsweise in Verbindung mit einer Oberflächenbehandlung, ist ein weiterer Anstieg der Festigkeit zu erwarten.

#### Energieaufnahme

Dogal DP Güten eignen sich gut für Komponenten, die für die Energieaufnahme entwickelt werden. Im Vergleich zu weichem Stahl kann die Blechdicke verringert werden, was ökonomische und ökologische Vorteile bietet.

Querschnittsaufbau, Materialfestigkeit und Blechdicke sind die Hauptursachen, die zusammengekommen die Energieaufnahmekapazität bilden. Um die Eigenschaften des Werkstoffes voll auszuerschöpfen, sollte das Ersetzen eines Werkstoffes niedriger Güte durch hochfesten Stahl einhergehen mit der Optimierung von Querschnittsaufbau und Blechdicke.

Da Dogal DP Güten hervorragende Kaltumformungseigenschaften besitzen, nimmt die Festigkeit des Werkstoffes während der Umformprozesse zu. Dies bietet Vorteile bei einem Aufprall eines Straßenfahr-

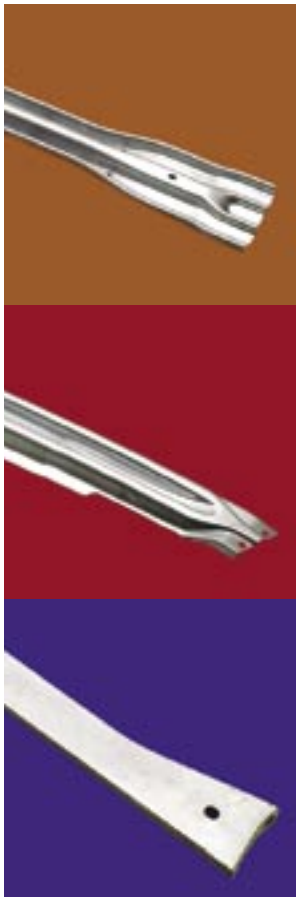
zeugs bei niedrigen Geschwindigkeiten, wo Energie durch die elastische Verformung des Materials aufgenommen wird. Die Festigkeit des Werkstoffes nimmt zudem mit steigender Verformung zu.

Die Energieaufnahmekapazität eines Teils oder Systems kann mithilfe der Finite-Elemente-Analyse (FEA) geschätzt werden. Dadurch können die Auswirkungen verschiedener Faktoren untersucht werden um das System zu optimieren. Verfahren wie Kaltumformung, Warmhärtung und Dehngeschwindigkeitsauswirkungen können einbezogen werden um die Präzision der Simulation zu erhöhen. Spannungs-Dehnungs-Kurven für Dogal DP können zur Eingabe bei Crash-Simulationen bei SSAB Steelfacts heruntergeladen werden unter [www.ssabdirekt.com](http://www.ssabdirekt.com).

Die Energieaufnahmekapazität sollte stets durch Tests an einzelnen Teilen oder dem gesamten System überprüft werden.

#### Stoß- und Schlagfestigkeit

Wenn größere Flächen eines Stahlblechs Stößen oder Schlägen ausgesetzt sind, besteht die hohe Wahrscheinlichkeit einer bleibenden Verformung. So muss eine Wagentür beispielsweise einer mäßigen Belastung durch Stöße und Schläge ohne bleibende Verformung standhalten können. Die Streckgrenze des Werkstoffes bestimmt dabei die Schlagfestigkeit der Blechteilfläche. Die Abbildung (Abb. 11) verdeutlicht die relative Dicke, bei der Dogal DP



Seitenaufprallträger aus Dogal 800 DP.

dieselbe Stoß- und Schlagfestigkeit besitzt wie weicher Stahl ( $220 \text{ N/mm}^2$ ), d.h. indirekt, wie viel Werkstoff durch den Umstieg auf Dogal DP Stahlgüten eingespart werden kann.

### Ermüdung

Die optimale Ausnutzung der Eigenschaften hochfester Stähle basiert auf einer genauen Berechnung der Ermüdungsbeanspruchung, d.h. der Art und Anzahl der Belastungszyklen innerhalb der Belastungsskala sowie auf geschickter Anordnung, beispielsweise durch Verminderung der belastungssteigernden Einflüsse bei Schweißnähten.

Schätzt man den Belastungsumfang konstant als in der Nähe des Maximalwerts befindlich ein, so würde daraus eine beträchtliche Überdimensionierung resultieren, da die Bauteile im Alltag normalerweise Belastungen unterschiedlichen Ausmaßes (schmale Belastungsbreite) ausgesetzt sind. Je schmaler die Belastungsbreite und je geringer die Anzahl der Belastungszyklen, desto mehr profitieren Sie von der Anwen-

dung hochfester Stahlgüten selbst bei geschweißten Konstruktionen. Merkmale eines guten Aufbaus:

- Nutzen Sie die Scheibenwirkung so oft wie möglich
- Stellen Sie eine gleichmäßige Beanspruchungsverteilung über die gesamte Anordnung sicher
- Vermeiden Sie plötzliche Veränderungen der Steifheit oder abrupte Querschnittsübergänge
- Die Art der Belastungszuführung ist oftmals entscheidend – entwickeln Sie mit Bedacht
- Achten Sie auf korrekte Anordnung der Schweißnähte
- Eine Häufung von Belastungssteigerern sollte in sämtlichen Anordnungen vermieden werden
- Sorgen Sie für gute Schweißqualität (die eigentliche Produktionsqualität sollte durch strenge Kontrollen gewährleistet sein).

Bei dünnen Feinblechen aus Werkstoffen wie Dogal DP zählen zu einer guten Konstruktion:

- die Verwendung von Verstärkungen (wie etwa Nute und Kantenverstärkungen), um einem Knicken entgegen zu wirken und somit die Materialausnutzung zu verbessern
- die Verwendung von Verstärkungen, um lokales Biegen des Bleches, beispielsweise an Belastungsstellen, zu vermeiden
- die Vergrößerung des Durchmessers der Schweißlinse beim Punktschweißen und die Verringerung des Abstandes der Schweißnähte zur Senkung der Belastungen

an der Schweißstelle und damit der Steigerung der Dauerfestigkeit in der gesamten Anordnung

- die kombinierte Anwendung von Punktschweißstellen und Klebungen (Schweißklebung) zur Steigerung der Dauerfestigkeit
- die Anwendung lasergeschweißter Nähte, da diese im Vergleich zu Punktnähten eine höhere Dauerfestigkeit aufweisen.

### Das Schweißen von hochfesten Dogal Stahlgüten

Bei verzinkten Stählen können fast dieselben Schweißverfahren eingesetzt werden wie bei kaltumgeformten Stählen. Um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, müssen die Schweiß Einstellungen verändert werden. In der Automobilindustrie werden als häufigste Schweißverfahren das Widerstandsschweißen, insbesondere das Punktschweißen, angewendet.

Heutzutage ist maschinelles Fügen aufgrund des Anstiegs dieser neuen Schweißverfahren in zunehmendem Maße gebräuchlich. MAG-Schweißen ist das gebräuchlichste Schmelzschweißverfahren beim Schweißen von verzinkten Stählen.

### Punktschweißen

Für das Punktschweißen hochfester Dogal Stahlgüten empfehlen wir denselben Typ von Cu Cr Zr Elektroden wie sie bei unbeschichteten Stählen verwendet werden (A2 gemäß ISO 5182). Entsprechend wird beim Ändern der Schweiß Einstellungen für hochfeste Dogal Güten die

### Stoß- und Bruchfestigkeit

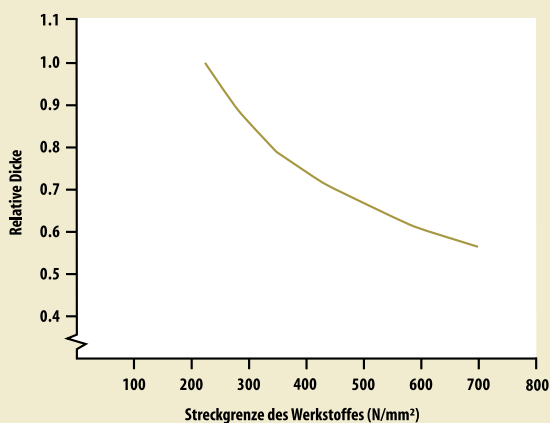


Abb. 11.



gleiche Empfehlung gegeben wie für weiche, verzinkte Stähle:

- höhere Elektrodenstärke (ca. 20-70%)
- höhere Schweißdauer (ca. 20-50%)
- höherer Schweißstrom (bis zu 50%).

Der Unterschied zwischen hochfesten Güten und weichen, verzinkten Stählen besteht darin, dass die

Elektrodenstärke und die Schweißdauer bei hochfesten Stählen höher sein müssen.

Die Werte des gemessenen zulässigen Strombereichs für optimale Qualität beim Punktschweißen von Dogal Stählen werden in untenstehender Tabelle (11) dargestellt.

#### Festigkeit von Schweißpunkten

Die Scherfestigkeit der Schweißpunkte ist bei Dogal DP höher als bei Stählen mit geringerer Festigkeit. Die Scherfestigkeit nimmt dabei entsprechend der höheren Festigkeit des zu schweißenden Stahls zu. Die Haftfestigkeit der Schweißpunkte ist geringer als die Scherfestigkeit. Wenn das Produkt punktgeschweißt werden soll, ist es daher besser, es mit Hinblick auf die Scherbelastung zu entwickeln. Die höhere Festigkeit von Dogal Stählen kann auf diese Weise optimal genutzt werden.

#### Schmelzschweißen

Das gebräuchlichste Schweißverfahren bei verzinkten Stahlgüten ist das MAG-Schweißen. Manchmal kann auch das MMA-Schweißen angewendet werden, während in der Automobilindustrie wiederum das Laserschweißen weit verbreitet

ist. Das TIG-Schweißen könnte sich als problematisch erweisen, weil sich das Zinkoxid der Dämpfe an der Elektrode festsetzt und eine dürftige Lichtbogenkonstanz und Schweißqualität verursachen könnte.

Vom Schweißaspekt her ist die geeignetste Lösung das lokale Abschleifen der Zinkbeschichtung. Um die Korrosionsbeständigkeit nach dem Schweißen unabhängig von einem etwaigen Abschleifen der Beschichtung zu gewährleisten, muss nach dem Schweißen ein Verfahren zur Erhaltung der Korrosionsbeständigkeit durchgeführt werden. In Frage käme z.B. eine zinkhaltige Beschichtung. Sollte ein Abschleifen der Beschichtung nicht möglich sein, werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Wählen Sie eine möglichst dünne Beschichtung
- Verringern Sie die Schweißgeschwindigkeit
- Verwenden Sie beim MAG-Schweißen ein Gas mit hohem CO<sub>2</sub>-Anteil
- Lassen Sie einen schmalen Spalt zwischen den Blechen
- Benetzen Sie die Bleche vor dem Schweißen mit einem Anti-Spritz-Öl
- Verwenden Sie beim MAG-Schweißen einen Draht mit Flussmittelkern,

**Gemessene zulässige Strombereiche beim Punktschweißen von hochfesten Dogal Stahlgüten**

Stahl 1	Stahl 2	Dicke Stahl 1/Stahl 2 (mm)	Schweißdaten					Zulässiger Strombereich <sup>1)</sup>		Art des Fehlers
			Elektroden- Durchmesser (mm)	Elektroden- stärke (N)	Anstauch- zeit (Zyklen)	Kühlzeit (Zyklen)	Schweißzeit (Zyklen)	Bereich kA	min-max kA	
Dogal 450 YP <sup>2)</sup>	Dogal 450 YP	2.0/2.0	8.0	5000	30	10	20	1.5	9.4-10.9	Voller Stecker
Dogal 500 YP <sup>2)</sup>	Dogal 500 YP	1.5/1.5	6.0	4000	99	10	23	1.2	6.2-7.4	Voller Stecker
Dogal 600 DP <sup>2)</sup>	Dogal 600 DP	1.0/1.0	6.0	3500	99	10	14	1.3	7.6-8.9	Voller Stecker
Dogal 600 DP <sup>2)</sup>	Dogal 600 DP	1.5/1.5	6.0	4500	30	20	19	2.0	6.9-8.9	Voller Stecker
Dogal 800 DP <sup>2)</sup>	Dogal 800 DP	1.2/1.2	6.0	4000	99	10	18	1.7	6.7-8.4	Voller Stecker
Dogal 800 DP <sup>3)</sup>	Dogal 800 DP	1.5/1.5	8.0	4000	30	10	17	3.0	9.8-12.8	Voller Stecker

Tabelle 11. <sup>1)</sup> Minimalwert: Stecker-Durchm. = 70% x Elektrodenstärken-Durchm. Maximalwert: Höchster spritzerfreier Wert. <sup>2)</sup> Beschichtungsdicke Z100, 7 µm (beide Güten). <sup>3)</sup> Beschichtungsdicke Z140, 10 µm (beide Güten).







Ergebnisse des MAG-Schweißens von Überlappungsstößen aus hochentwickelten hochfesten Dogal Stählen									
Güte	Blechdicke mm	Zink- dicke µm	Zusatzmetall	Strom- spannung V	Strom- stärke A	Schweiß- geschwind. cm/min	R <sub>p0.2</sub> MPa	R <sub>m</sub> MPa	Anmerkungen
Dogal 450 YP	2.0	7	OK Autrod 12.51	18.1	91	36	342	509	abgestimmt
Dogal 500 YP	1.5	7	OK Autrod 12.51	18.1	89	50	446	567	abgestimmt
Dogal 800 DP	1.2	7	OK Autrod 12.51	15.8	62	25	586	838	nicht abgestimmt
Dogal 800 DP	1.2	7	OK Autrod 13.31	17.6	84	43	486	766	abgestimmt
Dogal 450 YP	2.0	7	Safdual Zn	15.2	122	50	330	500	Rohrdraht
Dogal 500 YP	1.5	7	Safdual Zn	15.3	121	60	493	541	Rohrdraht
Dogal 600 DP	1.2	20	Safdual Zn	14.7	132	80	500	628	Rohrdraht
Dogal 800 DP	1.0	20	Safdual Zn	14.6	129	80	590	725	Rohrdraht
Dogal 600 DP	1.2	20	OK Autrod 19.40	15.4	80	43	220	258	MIG-Lötung
Dogal 800 DP	1.0	20	OK Autrod 19.40	15.4	74	43	269	403	MIG-Lötung

Tabelle 12.

der speziell für das Schweißen verzinkter Stähle vorgesehen ist

- Verwenden Sie Kupferdraht beim MIG-Löten.

#### Festigkeit von MAG-Schweißstellen

Beim MAG-Schweißen verzinkter Stahlgüten ist die Qualität der Schweißnaht einer der entscheidenden Faktoren, die die Festigkeit der Schweißverbindung bestimmen.

Die Porosität der Schweißnaht nimmt mit wachsender Dicke der Zinkbeschichtung zu. Daher ist die Verwendung eines Zusatzmetalls wichtig, das eine geringe Porosität und ein Minimum an Spritzern gewährleistet. Dies hat Vorrang vor der Verwendung eines übereinstimmenden Zusatzmetalls.

Die obenstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse der

Verwendung unterschiedlicher Zusatzmetalle beim MAG-Schweißen von Dogal Stahlgüten.

#### Laserschweißen

Laserschweißen kann zum Fügen von Dogal Stahl angewendet werden, sowohl zum Verbindungsschweißen als auch zum Schweißen von Blechzuschnitten. Beim Verbindungsschweißen werden normalerweise Überlappnähte eingesetzt.

Die Art der Schweißstelle ist entweder konventionell mit 100% Einbrandtiefe bei beiden Blechen oder eine Kantennaht. Das Laserschweißen von Dogal Güten wird wie bei weichen Stählen durchgeführt, wobei die nötigen Spannkraften für eine optimale Anordnung der Nähte oftmals deutlich höher sind. Um mit Dogal Stählen gute Ergebnisse bei lasergeschweißten Über-

lappnähten zu erzielen, wird wie bei verzinkten weichen Stählen ein schmaler Abstand zwischen den Blechen von 0.1-0.2 mm empfohlen. Dadurch können die Dämpfe dem Schweißbad entweichen, so dass Porosität und andere Mängel vermieden werden. Ein übermäßig großer Abstand hingegen birgt das Risiko einer Einbrandkerbe auf der Oberseite der Schweißnaht.

Dogal Stähle können bei Anwendungen geschweißter Blechzuschnitte eingesetzt werden. In diesem Fall wird das Stumpfschweißen angewendet. Die Fugenvorbereitung gleicht hierbei der von verzinkten Standardstählen. In beiden Fällen sind eine hohe Kantenqualität und eine optimale Anordnung die Voraussetzung für beste Ergebnisse beim Laserschweißen. Wenn das ge-

Umformbarkeit von Laserschweißnähten bei Dogal hochentwickelten hochfesten Dogal Stählen (Erichsen-Versuche)				
Güte	Blechdicke mm	Laserleistung kW	Schweißgeschwind. m/min	Erichsen-Wert <sup>1)</sup>
Dogal 450 YP	1.9	2.6	2.0	0.78
Dogal 600 DP, Z 140	1.2	6.0	5.5	0.82
Dogal 800 DP, Z 100	1.2	6.0	10.0	0.82

Tabelle 13. <sup>1)</sup> Erichsen-Wert = Streckbarkeit der Schweißnaht/Streckbarkeit des Grundmetalls

### Statische Festigkeit von MIG-gelöteten DP Stählen

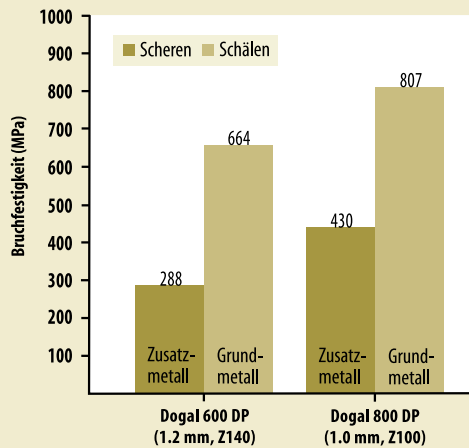


Abb. 12. Zugscheren- (Kehlnaht am Überlappungsstoß) und Zugschälungsversuche (Flanschverbindung) an MIG-gelötetem Dogal 600 DP und Dogal 800 DP. Zusatzmetall / Schutzgas: SG-CuSi3/Ar.

schweißte Produkt für ein Umformverfahren vorgesehen ist, wird für gewöhnlich ein Streckbarkeitsversuch (Erichsen'scher Tiefziehversuch) durchgeführt, um die Verformbarkeit der Laserschweißnaht berechnen zu können. Sämtliche Dogal Güten können hohe

Erichsen-Werte verzeichnen (Erichsen-Wert = Streckbarkeit der Schweißstelle/ Streckbarkeit des Grundmetalls). Siehe hierzu Tabelle 13.

### MIG-Hartlötung verzinkter DP Stähle

Eine Möglichkeit beim Fügen verzinkter hochfester Stahlgüten ist die MIG-Hartlötung. Hierfür kann dieselbe Ausrüstung wie beim MIG/MAG-Schweißen verwendet werden. Ein kupferhaltiger Draht mit niedrigem Schmelzpunkt dient neben einem trägen Schutzgas als Zusatzmetall. Das gebräuchlichste Zusatzmetall beim MIG-Hartlöten von verzinkten Stählen ist SG-CuSi3 (DIN 1733). Es verfügt über einen geringen Härtegrad und eine hohe Schmelzpunktbreite, was das Risiko von Mängeln während des Hartlötens mindert. Einige der Vorteile der MIG-Hart-

lötung gegenüber dem MAG-Schweißen sind:

- geringere Wärmeeinbringung
- geringere Verformung des Blechs
- weniger Spritzer und besseres Erscheinungsbild

Als Nachteil der MIG-Hartlötung ist die mitunter geringe Festigkeit des Zusatzmetalls zu nennen. Die Ergebnisse der Scherzug- und Schälversuche mit Dogal 600 DP Z140 (1.2 mm Dicke) und Dogal 800 DP Z100 (1.0 mm Dicke) werden in Abb. 12 dargestellt. Die Festigkeit der Flanschverbindungen (Schälversuche) ist sehr hoch und die Bruchstelle befindet sich am Grundmetall. Die Festigkeit der Überlappstöße (Scherzugversuche) ist geringer als die des Grundmetalls, was auf die geringe Festigkeit des Zusatzmetalls zurückzuführen ist.



# Korrosion

## Einführung

Metalle sind in der Regel häufiger der Witterung ausgesetzt als jeder anderen korrosiven Umgebung. Atmosphärische Korrosion ist ein Vorgang, der in einer Wasserschicht auf der Metalloberfläche stattfindet. Diese Schicht kann sogar so dünn sein, dass sie für das Auge unsichtbar ist.

Die vorwiegend für Korrosion verantwortlichen Bestandteile der Atmosphäre sind Sauerstoff (ca. 20%), Wasser (2.3% bei 20°C) und Kohlendioxid (0.03%). Weitere korrosive Bestandteile kommen häufig auch durch natürliche Prozesse oder menschliches Handeln zustande, so z.B. Schwefeldioxid, Ruß, Schwefelwasserstoff, Ozon, Natriumchlorid, Stickoxid, usw. Einflüsse wie vorherrschende Windrichtung, Temperatur, Niederschlag und Feststoffteilen spielen ebenso eine wichtige Rolle.

Der Korrosionsgrad wird durch folgende Faktoren erhöht:

- Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit
- Auftreten von Kondensation (wenn sich die Temperatur der Oberfläche

auf dem Niveau des Taupunktes oder darunter befindet)

- Zunahme an atmosphärischer Verschmutzung.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine erhebliche Korrosion stattfindet, sobald die relative Luftfeuchtigkeit 80% und die Temperatur 0°C übersteigen. Sind jedoch Schmutzstoffe und/oder feuchtigkeitsbindende Salze vorhanden, so setzt die Korrosion schon bei niedriger Luftfeuchtigkeit ein.

Zinkbeschichtungen werden bereits seit mehr als hundert Jahren zum Schutz von Stahl vor Korrosion eingesetzt. Die Beschichtungen sind recht effektiv und wirken zweifach – als Sperrschicht und als galvanischer Schutz der Stahloberflächen. Die Korrosionseigenschaften von Dogal DP Stahlgüten werden von der Korrosionsbeständigkeit der Zinkbeschichtung bestimmt, die mit jener von feuerverzinkten Grundgüten identisch ist. Somit besitzen Dogal DP Güten dieselbe Korrosionsbeständigkeit wie andere feuerverzinkte Stähle. Die Beschichtungen sind über eine weite

Spanne von pH-Werten etwa zwischen 4 und 12 wirksam (siehe Abb. 13), womit sie sich gut als Schutz sowohl in atmosphärischen Umgebungen als auch in verschiedenen wässrigen Lösungen eignen.

## Atmosphärische Korrosion

Das schwedische Institut für Korrosion hat die langfristigen korrosionsschützenden Eigenschaften von Dogal in unterschiedlichen Umgebungen untersucht. Die Ergebnisse werden in Abb. 14 aufgeführt. Die ausgewählten Versuchsstandorte sind entsprechend der Norm SS EN ISO 12 944-2 für einjähriges Einwirken auf Stahl- und Zinkbleche eingeteilt. Die Einstufung entsprechend der neuesten Daten ist der Tabelle 15 zu entnehmen.

Die Umgebung wird in fünf Kategorien eingeteilt, die von sehr geringer Aggressivität (C1) bis zu sehr hoher Aggressivität (C5) reichen. Die Werte für Massenverlust und durchschnittlichen Dickenverlust sind zusätzlich zu jeder Kategorie angegeben. Mithilfe dieser Zahlen lässt sich die Lebensdauer in einer bestimmten Aggressivitätskategorie bestimmen (siehe Tabelle 16).

Nach der Norm SS EN ISO 14 713 wird sendzimirverzinkter Stahl, Z 275, mit einer Beschichtungsstärke von 20 µm/Seite in Kategorie C2 eingeordnet, was eine Mindestlebensdauer von 15 Jahren bedeutet.

Die Korrosionsrate von Dogal als Funktion des pH-Wertes in wasserhaltigen Lösungen

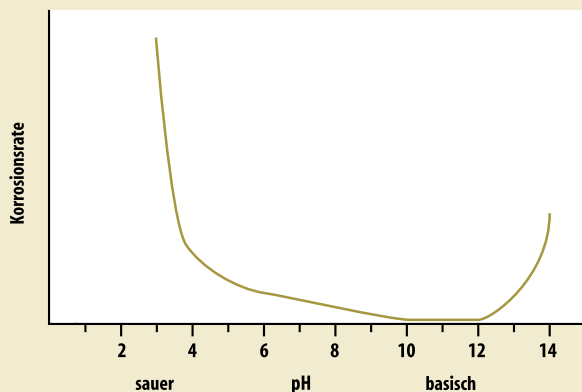


Abb. 13.

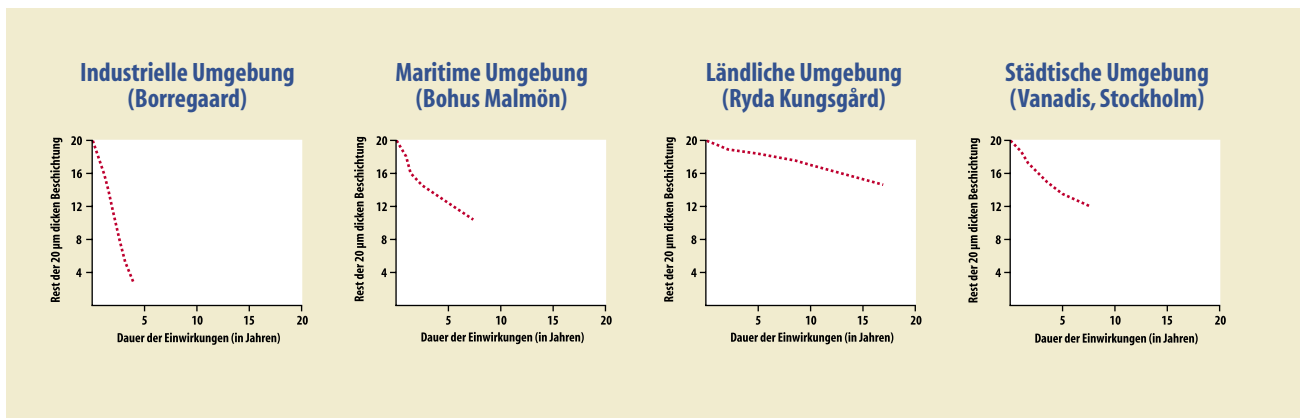


Abb. 14.

Unterteilung des Korrosionsgrades der Feldstationen			
Feldstation	Umgebung	Kohlenstoffstahl	Zink
Ryda	Ländlich	C2	C2
Stockholm, Vanadis	Städtisch	C2	C2
Borregaard	Industriell	C3	C4
Bohus Malmön	Maritim	C5	C3

Tabelle 14. Daten basieren auf den Einwirkungen von 2002 mit Ausnahme von Borregaard, dessen Werte von 1995 stammen.

Geschätzte Haltbarkeit von Dogal Z275										
Güte	Geschätzte Lebensdauer (in Jahren)									
	C1		C2		C3		C4		C5	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Dogal Z 275	∞	∞	18	130	6	18	3	6	1	3

Tabelle 15.

Kategorien der umgebungsabhängigen Korrosion				
Korrosionskategorie	flächenbezogener Massenverlust, Dickenverlust nach 1 Jahr			
	Stahl		Zink	
	Massen- verlust (g/m²)	Dickenverlust (µm)	Massen- verlust (g/m²)	Dickenverlust (µm)
• C1 (sehr niedrig) In geschlossenen Räumen	≤ 10	≤ 1.3	≤ 0.7	≤ 0.1
• C2 (niedrig) Ländliche Gegenden	>10 to 200	>1.3 to 25	>0.7 to 5	>0.1 to 0.7
• C3 (durchschnittlich) Städtische Umgebung mit mäßiger Verschmutzung	>200 to 400	>25 to 50	>5 to 15	>0.7 to 2.1
• C4 (hoch) Industrielle und maritime Gegenden mit mäßiger Verschmutzung	>400 to 650	>50 to 80	>15 to 30	>2.1 to 4.2
• C5 (sehr hoch) Industrielle und maritime Gegenden mit hoher Luftfeuchtigkeit und aggressiver Atmosphäre	>650 to 1500	>80 to 200	>30 to 60	>4.2 to 8.4

Tabelle 16.



### Korrosion an Schnittkanten

In Abb. 15 ist eine Schnittkante von Dogal dargestellt. Da die Zinkbeschichtung weniger edel ist als die Stahlkante, wird sie zur Anode des galvanischen Paares, während die Stahlkante zur Kathode wird. Der Schutz der Kante hängt von der Aggressivität der Umgebung ab, d.h. von der Leitfähigkeit der feuchten Schicht an der Kante sowie der Beschichtungs- und der Stahldicke.

Die Leitfähigkeit der die Kante bedeckenden Schicht

wird von der Anzahl der gelösten Salze bestimmt. Eine hohe Leitfähigkeit verstärkt den Schutz der Kante, so dass ein dickeres Stahlblech geschützt werden kann. Eine reine Wasserschicht, z.B. Kondensat, besitzt eine sehr geringe Leitfähigkeit, was einen dürftigen Schutz der Kante zur Folge hat. Daher bildet sich schon nach kurzer Zeit roter Rost auf der Schnittkante. Diesen Vorgang kann man beobachten, wenn ein Produkt während der Lagerung oder beim Transport hoher Feuchtigkeit oder Kondensation ausgesetzt war.

Eine Zinkbeschichtung kann eine Schnittkante von höchstens 1 oder 2 mm Dicke schützen. Die untere Grenze von 1 mm gilt für Umgebungen, in denen die Kante hoher Feuchtigkeit oder Kondensat ausgesetzt ist (d.h. mit niedriger Leitfähigkeit). In Umgebungen mit größerer Verschmutzung oder höherem Salzgehalt (d.h. mit hoher Leitfähigkeit) kann der Schutz auf 2 mm Kantendicke erweitert werden.

Als Konsequenz des in Abb. 15 beschriebenen Mechanismus beginnt sich die Metallbeschichtung in Kantennähe aufzulösen. Eine dickere Schicht würde daher wegen der größeren Menge an Werkstoff über längere Zeit schützen. Die Breite der aufgelösten Fläche richtet sich nach der Leitfähigkeit der feuchten Schicht und dem Vermögen des Gegenstandes, den feuchten Zustand der Fläche zu erhalten, z.B. die Unterkante eines senkrechten Blechs oder ein waagrecht offenes Lochblech.

### Werkstoffverträglichkeit

Galvanische Korrosion kann auftreten, wenn Dogal in direkten elektrischen Kontakt mit einem anderen Metall bzw. einer Legierung kommt und damit einen Stromkreis bildet. Da die Zinkbeschichtung für gewöhnlich in dieser Paarung der weniger edle Partner ist (siehe Tabelle 17), wird sie zur Anode und korrodiert schneller als in separatem Zustand. In Tabelle 17 werden einige gebräuchliche Werkstoffe von edel hin zu weniger edel aufgelistet. Treten zwei Werkstoffe in Verbindung, so wird die Anode weniger edel und korrodiert schneller.

Problematisch sind daher Verbindungen von Dogal mit den edelsten Werkstoffen. In diesem Fall sind die Korrosionskräfte besonders stark und der Abtrag beim anodischen Werkstoff deutlich schneller als in separatem Zustand.

Von der Anwendung von Dogal mit Blei oder Kupfer ist abzuraten, ebenso mit verschiedenen Legierungen aus diesen Elementen, wie beispielsweise Messing. Gleichsam ist ein Wasserabfluss von kupferhaltigen Teilen auf Dogal zu vermeiden, weil er Korrosion und Verfärbung begünstigen kann. Verbindungen mit Edelstahl oder Nickel können in aggressivem Umfeld ebenfalls mit Risiken behaftet sein.

Der Werkstoff Holz kann viel Wasser aufnehmen und über lange Zeit eine hohe Feuchtigkeit bewahren. Die Berührungsfläche von Holz und Dogal bildet einen Spalt, an dem weißer Rost auftritt. Dieser Vorgang

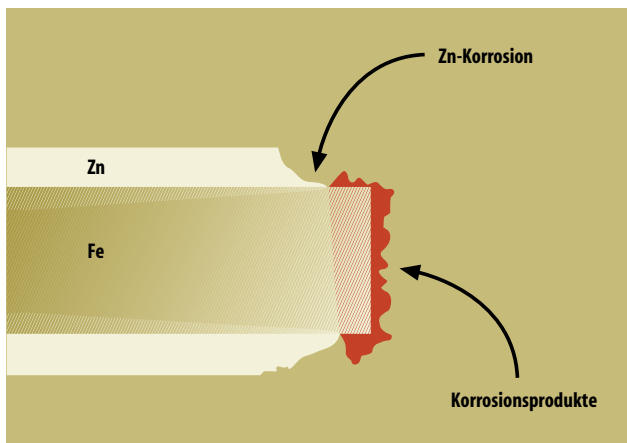


Abb. 15. Kantenkorrosion von Dogal.

<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold;">EDEL</div> <div style="margin: 0 10px;">↑</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold;">WENIGER EDEL</div> <div style="margin: 0 10px;">↓</div> </div>	Gold
	Graphit
	Silber
	Edelstahl (passiv*)
	Kupfer
	Nickel
	Zinn
	Edelstahl (aktiv*)
	Blei
	Stahl
	Cadmium
	Aluminium
	55 Aluminium-Zink (Aluzink)
	Verzinkter Stahl (Dogal®)
	Zink
	Magnesium

\* In passivem Zustand besitzt die Oberfläche des Werkstoffes eine schützende Oxidschicht. Diese fehlt im aktiven Zustand.

Tabelle 17. Elektrochemische Folge metallischer Werkstoffe.

ähnelt der Bildung von weißem Rost zwischen Feinblechen während der Lagerung oder beim Transport in feuchter Umgebung.

Bei imprägniertem Holz ist dies noch problematischer, weil die Chemikalien zur Imprägnierung meist Kupfersalze enthalten, die zum Teil gelöst werden und aus dem Holz austreten. Diese Lösung ist dabei äußerst aggressiv und greift Dogal stark an. Bei Lagerung und Transport von Holz sollten diese Gesichtspunkte berücksichtigt und Maßnahmen zum Schutz des Produkts ergriffen werden. Nähere Einzelheiten sind dem Abschnitt über Transport und Lagerung zu entnehmen.

Wie in Tabelle 17 verdeutlicht, handelt es sich bei Graphit um einen sehr edlen Werkstoff, der somit wesentlich zur Korrosion von Dogal beitragen kann,

wenn diese Stoffe miteinander in Berührung kommen. Das Kohlenschwarz ist chemisch identisch mit Graphit. Enthält daher ein Werkstoff aus Gummi Anteile von Kohlenschwarz, so kann auch hier der Kontakt mit Dogal dessen Korrosionsgeschwindigkeit beträchtlich beschleunigen.

Diverse Werkstoffe für Dichtungen und Dachpapen sind petrochemische Produkte und enthalten Bitumen. Wenn der Dichtungs- oder Dacheindeckungsstoff UV-Strahlung ausgesetzt ist, können sich manche Bestandteile zersetzen und von Regen oder Kondensat ausgelaugt werden, so dass eine saure Lösung entsteht. Kommt diese Lösung mit Dogal in Kontakt, verursacht sie an diesen Stellen verstärkte Korrosion. Stellen Sie daher sicher, dass aus dem Dichtungs- oder Dacheinde-

ckungsstoff keine Chemikalien ausgewaschen werden und er UV-Schutzmittel enthält oder mit einer Strahlenschutzschicht behandelt ist.

### Schutz der Schweißnähte

Beim Schweißen verdampft der Großteil der Zinkbeschichtung, so dass der Korrosionsschutz an der Naht sehr eingeschränkt ist. Die Schweißpunkte sind gewöhnlich zu groß, um von der umliegenden Beschichtung vollständigen galvanischen Schutz zu erhalten (Abb. 16). Es bildet sich daher – unabhängig von ihrer Größe – roter Rost an den Schweißpunkten. Eine zinkhaltige Beschichtung oder ein Zinkspray kann an den Schweißpunkten angewendet werden, um den Korrosionsschutz zu verbessern.

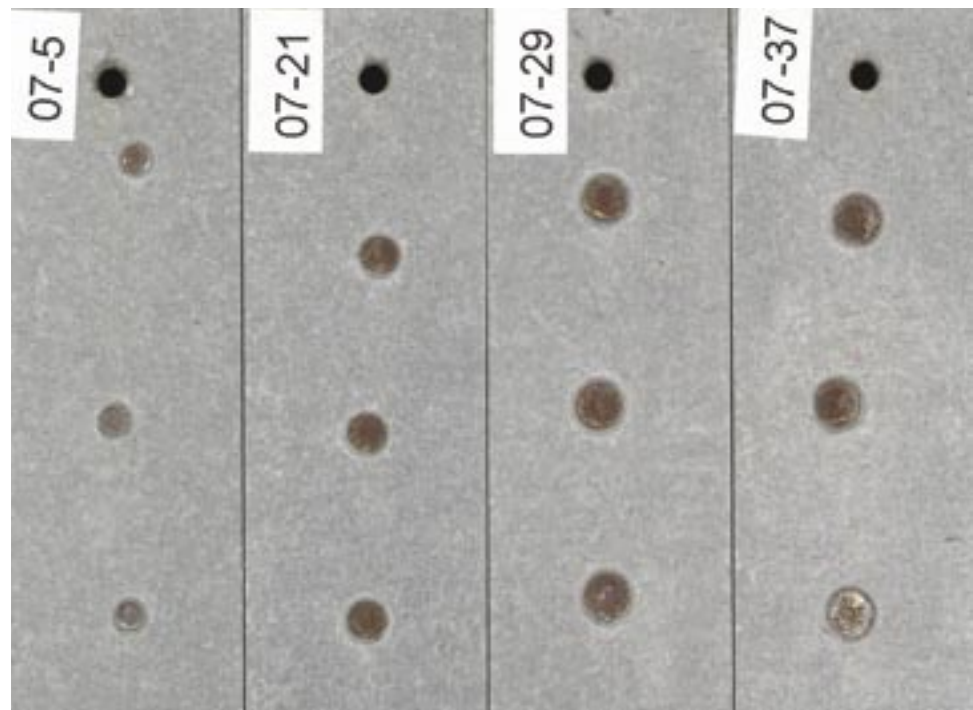


Abb. 16. Punkteschweißter Dogal Stahl mit Schweißstellen unterschiedlichen Durchmessers nach 5-jähriger Aussetzung in städtischer Umgebung. Die Durchmesser der Punkte vergrößern sich von links nach rechts. Beachtenswert ist der unabhängig von der Größe der Punkte auftretende rote Rost in den Schweißstellen.

# Oberflächen- behandlung

Erscheinungsbild und Funktionalität von Dogal können durch Behandlung der Oberfläche aufgewertet werden. Eine Reihe von Vorbehandlungs- und Beschichtungsverfahren stehen für die Anwendung an feuerverzinktem Stahl zur Verfügung. Die Wahl des geeigneten Verfahrens hängt von der Kombination aus Anforderungen an das Produkt und der Aggressivität der Umgebung ab, welcher das Produkt später ausgesetzt sein wird.

## Reinigung

Die Metalloberfläche muss vor dem Auftrag der Beschichtung sauber sein, da andernfalls kein wirksames Beschichtungsverfahren durchgeführt werden kann. Die gebräuchlichsten Reiniger sind heutzutage wässrige, alkalische Lösungen, die durch Sprühen oder Eintauchen aufgetragen werden. Die Zusammensetzung des Reinigers hängt von Art und Umfang der Verschmutzung ab. Empfehlungen zu diesem Thema können beim Anbieter von Chemikalien zur Vorbehandlung eingeholt werden.

Bei Gebrauch des Pro-

duktes in geschlossenen Räumen oder in milder Freiluftumgebung genügt eine Reinigung vor dem Lackieren. Bei aggressiverer Umgebung wird vor dem Lackieren eine chemische Konversionsschicht benötigt.

## Chemische Konversionsschicht

Ein übliches Verfahren zur Oberflächenkonversion ist das Eisenphosphatieren, entweder in Kombination mit dem Reinigen oder als separates Verfahren. Durch das Eisenphosphatieren entsteht auf der galvanisierten Oberfläche eine dünne Schicht (weniger als 1 µm) aus Zinkphosphat.

Ein weiteres Verfahren der Oberflächenkonversion ist das Zinkphosphatieren, wahlweise mit oder ohne Zusätze von Nickel und Mangan. Das Zinkphosphatierbad erfordert größere Sorgfalt und genauere Steuerung als ein Eisenphosphatierbad und bietet eine dickere kristalline Beschichtung. Dieses Verfahren kommt zum Einsatz, wenn besonders hohe Anforderungen an die Haftung der Lackierung und die korrosionshemmenden Eigenschaften gestellt werden.

Sämtliche Beschichtungen durch Phosphatieren verbessern die Haftung der Lackierung und verringern das Risiko einer Unterschichtkorrosion (d.h. einer Korrosion unterhalb eines Lacküberzugs).

## Lackierverfahren

Es gibt zwei Grundarten von Lackierungsverfahren für sendzimirverzinkten Stahl – Lackierungen und Pulverlackierungen auf Lösungsmittel- oder Wasserbasis. Als Faustregel gilt: je dicker der Lacküberzug, desto besser der Korrosionsschutz. In aggressiver Umgebung muss das Lackierverfahren einen Grundanstrich mit korrosionshemmenden Pigmenten einschließen. Um die Lebensdauer des Produkts zu optimieren, ist eine hohe Freiluftbeständigkeit des Deckanstrichs entscheidend.

## Grundanstrich

Zweck des Grundanstrichs ist die Gewährleistung guter Haftung am Metall und wirkungsvoller Schutz vor Korrosion. Er sollte korrosionshemmende Pigmente wie Zinkphosphat enthalten. Geeignete Grundanstriche



Binder	Eigenschaften
Acryl	Gute Freiluft- und Farbbeständigkeit sowie gute mechanische Eigenschaften. Eingeschränkte Widerstandsfähigkeit gegenüber Lösungsmitteln. Luftgetrocknet oder ofengehärtet.
Alkyd	Alkyde sind für Dogal nicht zu empfehlen.
Epoxid	Wegen drohendem Auskreiden nicht für Freiluftanwendungen geeignet. Gute mechanische Eigenschaften und Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien. Erhältlich als Pulver- und lösungsmittelbasierte Beschichtung (ofengehärtet).
Polyester	Üblicher Binder für Pulverbeschichtungen. Gute Freiluft- und mechanische Eigenschaften.
Polyurethan (PUR)	Vorzügliche Freiluftbeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien. Erhältlich als wasserbasierte, lösungsmittelbasierte oder als Pulverbeschichtung.

Tabelle 18.



sind alkalibeständige Alkyd- und Epoxidlacke. Da Epoxid bei Sonnenlicht zerfällt, muss der Deckanstrich auf den Epoxid-Grundanstrich aufgetragen werden, bevor das Produkt dem Sonnenlicht ausgesetzt wird. Bei lackierten Produkten, die für den Einsatz in weniger aggressiver Umgebung vorgesehen sind, kann auf den Grundanstrich verzichtet werden.

#### *Deckanstrich*

Aufgabe des Deckanstrichs ist es, der lackierten Oberfläche das gewünschte ästhetische Aussehen zu verleihen und dabei die Kratz- und Stoßfestigkeit zu erhöhen. Er kann zudem einen technischen Nutzen wie elektrische Abschirmung oder Rutschfestigkeit bringen. Ein kurzer Überblick über

Lacke nach ihren Bindern geordnet und die Haupteigenschaften der Binder findet sich auf Tabelle 18.

#### **Empfohlene Beschichtungsverfahren für Dogal**

Auf der Grundlage der Korrosionskategorien werden in Tabelle 19 geeignete Verfahren zur Schutzbeschichtung von Dogal empfohlen. Eine vollständige Übersicht der Verfahren kann von Lackanbietern bezogen werden.

#### **Transport und Lagerung**

Für eine reibungslose Verarbeitung und Oberflächenbehandlung des Endproduktes ist es entscheidend, das Produkt über die komplette Bearbeitungs-, Produktions- und Lagerungskette hinweg vor Wasser und Feuchtigkeit zu schützen – vom Stahlwerk bis zum Endverbraucher.

Wasser oder Feuchtigkeit ausgesetzt, kann es zur Fleckenbildung kommen. Bei dieser Variante der Korrosion entsteht ein weißes oder graues Erscheinungsbild, wenn Rollen oder eng aufeinander liegende Bleche oder Platten Wasser oder Feuchtigkeit ausgesetzt werden. Wasser kann zwischen den Überlappungen der Rollen oder der Bleche durch Kapillarwirkung eindringen und daraufhin korrosiven Abtrag und Oberflächenverfärbung verursachen.

Kleinere beschädigte Flächen können durch Hochdruckreinigung wieder ausgebessert werden. Es stehen auch einige Vorbehandlungsmittel zur Verfügung, die Korrosionsprodukte entfernen können. In diesen Fällen kann das Produkt auf herkömmliche Weise lackiert werden. Sollten sich die Korrosionsprodukte jedoch nicht entfernen lassen, sollte von einer Lackierung abgesehen werden, da die Haftung stets unbefriedigend sein wird.

Korrosionskategorie	Vorbehandlung	Anstrichsystem
C2	Entfettung	Pulverbeschichtung , Epoxid* oder Polyester. Mindestschichtdicke 60 µm.
	Entfettung + Eisenphosphat	Pulverbeschichtung , Epoxid* oder Polyester. Mindestschichtdicke 40 µm.
C3	Entfettung	Wasserbasierte Acrylgrundsicht mit aktiven Korrosionsschutz-Pigmenten + Polyester-Pulverbeschichtung, Mindestschichtdicke 60 µm.
	Entfettung + Eisenphosphat	Pulverbeschichtung , Polyester. Mindestschichtdicke 60 µm.
C4	Entfettung + Eisenphosphat	Wasserbasierte Acrylgrundsicht mit aktiven Korrosionsschutz-Pigmenten + Polyester-Pulverbeschichtung, Mindestschichtdicke 60 µm.
	Entfettung + Eisenphosphat	Pulverbeschichtung , Polyester. Mindestschichtdicke 80 µm.

Tabelle 19. \* Nur für den Gebrauch in geschlossenen Räumen.





## Empfehlungen zu Werkzeug- stählen

### Stanzen und Umformen von hochfesten Dogal Stahlgüten

Wie überall in der industriellen Fertigung gilt es, auch die Umformungs- und Abscherprozesse bei Bauteilen aus Stahl problemlos zu gestalten. Die Kette von Werkzeugentwicklung hin zur Werkzeuginstandhaltung umfasst viele Stufen, wie die untenstehende Grafik illustriert.

Eine Voraussetzung für gute Produktivität und Wirtschaftlichkeit ist die korrekte Ausführung aller Phasen. Hierfür ist die Wahl der richtigen Werkzeugstähle für Schneide- und Abscherprozesse von übertragender Bedeutung.

Um den richtigen Stahl auswählen zu können, müssen die möglichen Ausfallmechanismen beim Abscheren oder Umformen ermittelt werden. Diese können dazu führen, dass

das Werkzeug schon nach kurzer Nutzungsdauer unbrauchbar wird. Grundsätzlich werden fünf Ausfallmechanismen unterschieden, die an den aktiven Teilen des Werkzeugs auftreten können:

- **Verschleiß**, entweder als Abrieb oder Adhäsion, verbunden mit dem Werkstoff des Werkstücks, der Art des Umformungsvorgangs und den Reibungskräften beim Schleifkontakt
- **plastische Verformung** kann im Falle eines Missverhältnisses zwischen den Belastungen und der Druckstreckgrenze (Härte) des Werkzeugwerkstoffes auftreten
- **Kantenbeschädigungen** können infolge eines Missverhältnisses zwischen den Belastungen und der Dehnbarkeit des Werkzeugwerkstoffes auftreten

- **Rissbildung** kann im Falle eines Missverhältnisses zwischen den Belastungen und der Zähigkeit des Werkzeugwerkstoffes auftreten
- **Pick-up** kann infolge eines Missverhältnisses zwischen dem Werkzeugwerkstoff und den Reibungskräften beim Schleifkontakt auftreten. Der Pick-up-Mechanismus steht in engem Zusammenhang mit dem Adhäsionsverschleiß.

Plastische Verformung, Kantenbeschädigungen und Rissbildung sind Arten von Ausfallmechanismen, die häufig zu ernsthaften und kostspieligen Produktionsausfällen führen können. Verschleiß und Pick-up sind leichter vorzusehen und können zum überwiegenden Teil durch systematische Wartung der Werkzeu-

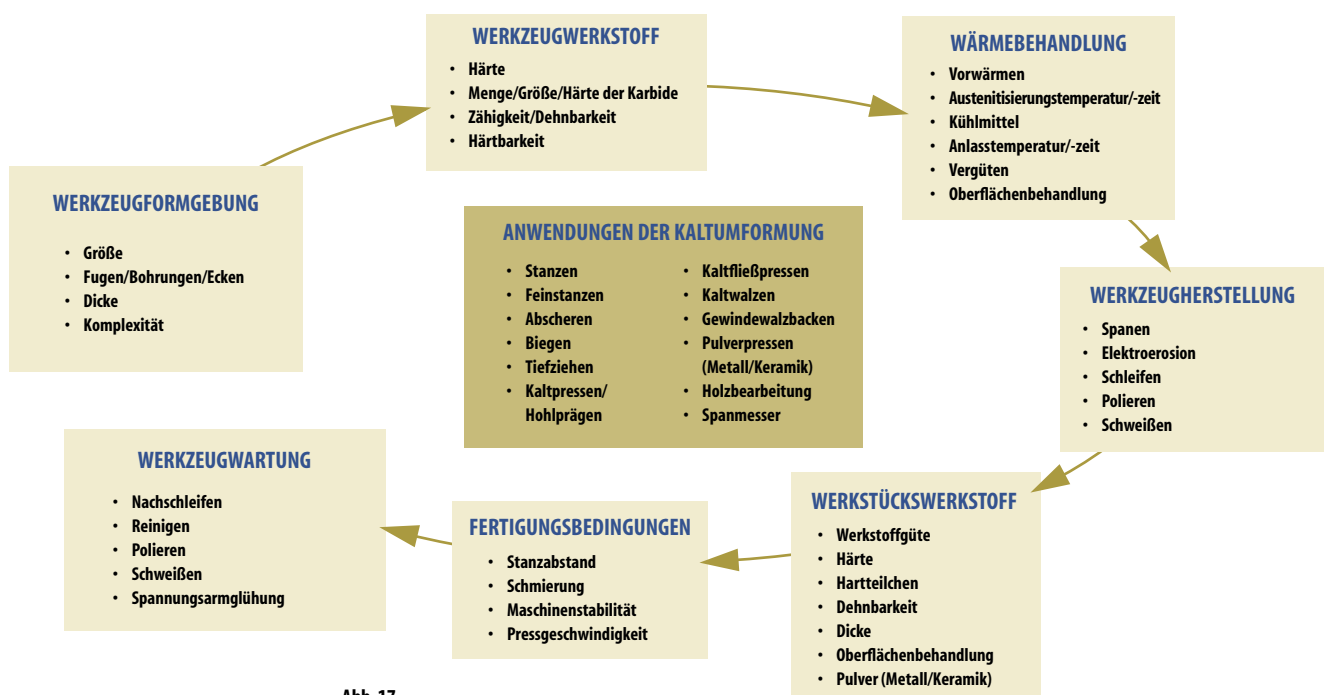


Abb. 17.

Relative Anfälligkeit gegenüber Störfaktoren								
Werkzeug- stahlgüte	Standards			Härte Plastische Verformung	Verschleißbeständigkeit		Ermüdungsbeständigkeit	
	SS	ISO	DIN		Abrieb	Adhäsion	Riss- bildung	Riss- vergrößerung
							Dehnbarkeit – Span- beständigkeit	Zähigkeit – Vollbruch- beständigkeit
Arne	2140	W.-Nr. 1.2510	AISI 01	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Calmax		W.-Nr. 1.2358		<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Rigor	2260	W.-Nr. 1.2363	AISI A2	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Sleipner				<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Sverker 21	2310	W.-Nr. 1.2379	AISI D2	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Sverker 3	2312	W.-Nr. 1.2436	AISI D6	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Vanadis 4				<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Vanadis 23		W.-Nr. 1.3344	AISI M3:2	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Vanadis 6				<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
Vanadis 10				<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>

Tabelle 20.

ge in den Griff bekommen werden. Als Folge daraus ist es eventuell ratsam, eher mehr Verschleiß hinzunehmen als Kantenbeschädigungen oder Rissbildung.

Die Besonderheit beim Umformen und Scheren von Dogal Stählen: Bei einer gegebenen Blechdicke müssen die Kräfte höher als bei Grundgüten sein, weil die höhere Streckgrenze beim Umformen überwunden und die höhere Abscherfestigkeit beim Abscheren übertroffen werden muss. Das bedeutet einen Anstieg der Belastungen und damit höhere Anforderungen an Verschleißbeständigkeit und Festigkeit des Werkzeugwerkstoffes. Der Abschervorgang ist äußerst heikel, weil er eine Mischung aus hoher Verschleißbeständigkeit und hoher Widerstandsfähigkeit gegenüber Kantenbeschädigungen/ Werkzeugbruch abverlangt, wohingegen das Umformen lediglich Verschleißbeständigkeit voraussetzt.

Ein relativer Vergleich zwischen kaltumformten

Stählen von Uddeholm Werkzeugbau im Hinblick auf Widerstandsfähigkeit gegenüber diesen speziellen Ausfallmechanismen bei Werkzeugen findet sich in obenstehender Tabelle.

#### Produktionsbedingungen

Verglichen mit anderen Stählen verfügen die Stahlgüten von VANADIS über eine gute Kombination aus Verschleißbeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Kantenbeschädigungen. Grund dafür ist die Herstellung der Stähle mit pulvermetallurgischen Verfahren, während andere mit herkömmlichen metallurgischen Verfahren produziert werden. Die unterschiedlichen Eigenschaften liegen vorwiegend darin begründet, dass durch das pulvermetallurgische Verfahren kleine, gleichmäßig verteilte Karbide entstehen, die vor Abrieb schützen. Zudem stellen die Karbide wegen ihrer geringen Größe eine geringere Gefahr dar, Ausgangspunkte für Ermüdungsanrisse zu sein. Im Gegensatz dazu besitzen

herkömmliche Stähle mit guter Verschleißbeständigkeit große Karbide, die streifenartig angeordnet sind und die mechanische Festigkeit des Werkstoffes vermindern.

#### Anleitung zur Stahlauswahl beim Abscheren hochfester Dogal Stähle

Da kein Herstellungsverfahren dem anderen exakt gleicht, ist es schwierig, eine genaue Empfehlung zu Werkzeugstählen für eine bestimmte Produktionssituation zu geben. Eine bessere Vorgehensweise wäre, wo möglich, auf vergangene Erfahrungen mit der Produktion im eigenen Hause und gleichem mechanischen Gerät zu bauen und schrittweise die Wahl des Stahls durch den Leistungsvergleich der diversen Stähle zu optimieren. Hat der Anwender keine In-house-Erfahrung, kann die oben stehende Tabelle der Orientierung dienen.

Sämtliche in Tabelle 20 aufgeführten Werkzeugstähle können mit den weniger festen Güten der Do-

### Stanzen hochfester Stahlgüten Anleitung für Werkzeugstähle

Komplexer Aufbau				
Normaler Aufbau				
Einfacher Aufbau				
	Dogal 500 YP	Dogal 600 DP	Dogal 800 DP	Dogal 1000 DP

Abb. 18.

Kurze und mittellange Längen der Baureihen	Sleipner Rigor Calmax Sverker 21	Sleipner Rigor Calmax	Sleipner Rigor Vanadis 4
Lange Längen der Baureihen	Vanadis 10 Vanadis 6 Vanadis 4 Vanadis 23 Sleipner Sverker 21	Vanadis 6 Vanadis 4 Vanadis 23 Sleipner	Vanadis 6 Vanadis 4 Vanadis 23 Sleipner

Tabelle 21. In jedem Fall sollte die Härte mindestens 58 HRC betragen, um die Gefahr der plastischen Verformung auszuschließen.

gal DP Stähle angewendet werden, beispielsweise für dünnere Bleche oder einfachere Formen. Es können jedoch nur wenige mit den Güten höchster Festigkeit angewendet werden, hauptsächlich wegen der Gefahr eines vorzeitigen Werkzeugbruchs durch Kantenbeschädigungen.

Bei der Werkzeugentwicklung und -produktion sind spitze Winkel, kleine Radien und dürrtlig bearbeitete Oberflächen zu vermeiden. Die hohe Belastung im Gebrauch zusammen mit dem hohen Härtegrad der Werkzeugstähle verursachen an diesen Stellen Belastungskonzentrationen.

### Anleitung zur Stahlauswahl beim Umformen hochfester Dogal Stähle

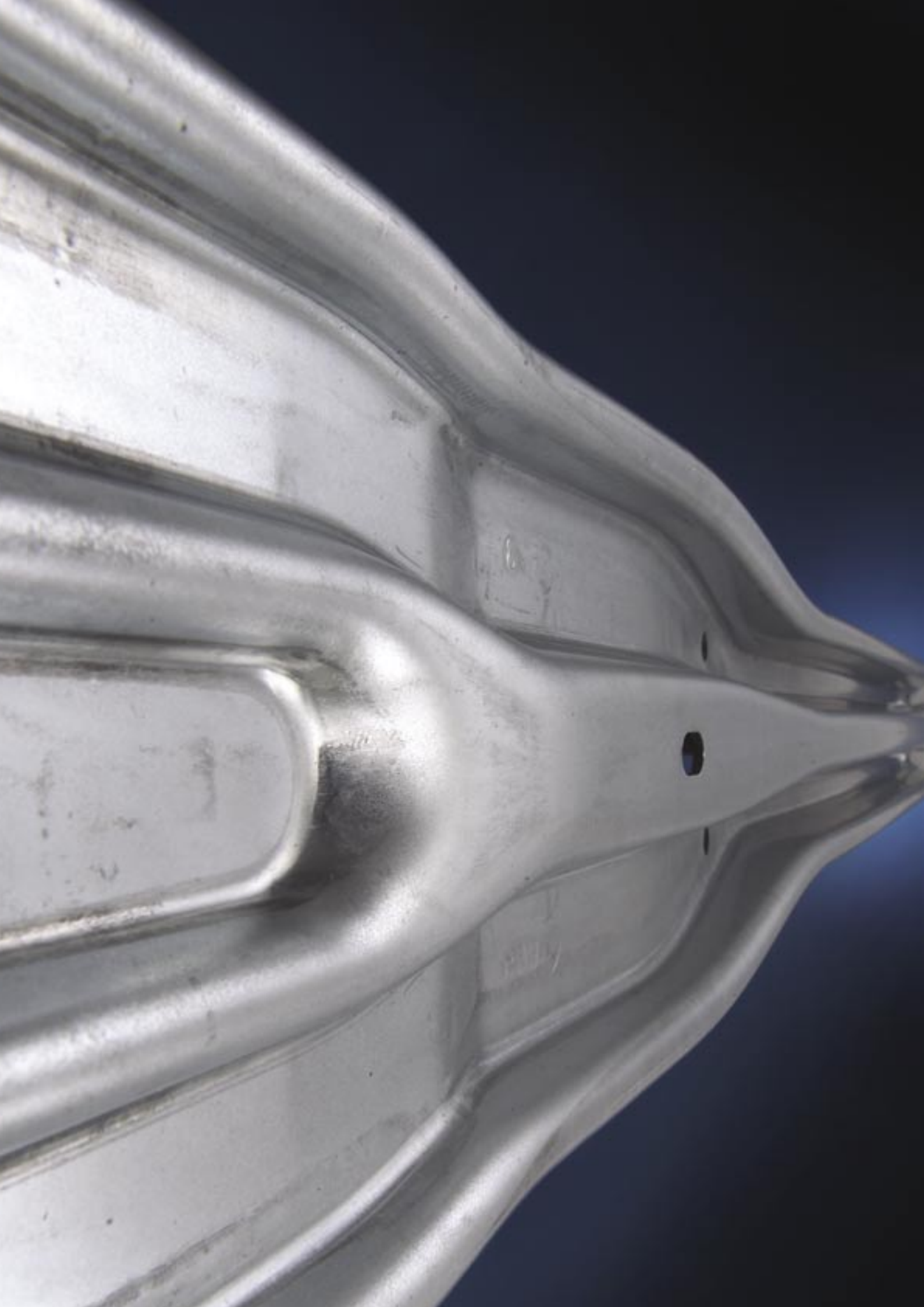
Verschleiß, meist als Abrieb in Erscheinung, ist der größte Ausfallmechanismus bei Umformungsverfahren. Dennoch kann wegen der starken Reibungskräfte, die beim Umformen von Dogal Stählen wirken, auch Adhäsionsverschleiß auftreten. Pulverstähle besitzen das beste Verhalten. Zur Auswahl der Werkzeugstähle sind jedoch außer der in oben stehender Ausfallmechanismus-Tabelle und der Anleitung für Werkzeugstähle zu entnehmenden Werte keine weiteren Informationen nötig. Da ultrahochfeste Stähle nicht so gut umzuformen sind wie Grundgüten, kann den produzierten Teilen kein so enger Radius gegeben werden wie bei Blechen aus Grundgüten, was sich im Zusammenhang mit Werkzeugen positiv auswirkt.

### Ratgeber zur Auswahl der Stahlgüte beim Umformen Anleitung für Werkzeugstähle

Länge des Produktionslaufs	Vorherrschende Art des Verschleißes		
	Adhäsionsverschleiß	Mischverschleiß	Abrieb
Kurz	Arne 54-56 HRC Carmo* 54-61 HRC	Arne 54-58 HRC Calmax 54-59 HRC	Arne 54-60 HRC
Mittel	Calmax 54-58 HRC Sleipner 56-62 HRC	Rigor 54-62 HRC Sleipner 58-63 HRC	Sverker 21 58-62 HRC Sleipner 60-64 HRC
Lang	Vanadis 4 56-62 HRC	Vanadis 6 60-64 HRC Vanadis 23 60-65 HRC	Sverker 3 58-62 HRC Vanadis 6 60-64 HRC Vanadis 10 60-64 HRC

Table 22. \* Flamm-/Induktionshärtung.





## Was sollten Konstrukteure beachten?

Die extra- und ultrahochfesten Stahlgüten von Dogal bieten Spielraum zur Entwicklung leichter, dünnwandiger Produkte. Beachten Sie jedoch, dass die Eigenschaften des Produkts letztlich durch die geometrische Form in Verbindung mit den Eigenschaften des Werkstoffs bestimmt werden. Die Fähigkeit zum Tragen von Lasten und die Steifheit beim Biegen von Trägern, Querschnitten, etc. werden in hohem Maße beeinträchtigt von Profilstärke und verschiedenen Verstärkungen.

Verstärkungen wie Nut und Falzkanten kommen bei dünnen Stahlblechteilen zur Anwendung, weil sie die Neigung zum Knicken verringern, die Steifig-

keit erhöhen und eine volle Ausnutzung des Werkstoffs ermöglichen. Besonders bei der Entwicklung von Energie aufnehmenden Teilen, wo ein Falzen und Knicken selbst während der plastischen Verformung unterdrückt oder gesteuert werden muss, sind Verstärkungen von Bedeutung. Nuten und Verstärkungen können direkt auf Teile gepresst werden, die aus hochfesten Dogal Güten bestehen. Im Verhältnis zu ihrer hohen Festigkeit verfügen diese Werkstoffe über gute Pressbarkeit. Achten Sie jedoch auf ausreichend großen Kantenradius und angemessene Ziehtiefe.

Das Profilwalzen eignet sich besonders gut zur Herstellung von Querschnitten

in langen Arbeitsabläufen. Beim Profilwalzen können Nut und Kantenfalze direkt während des Umformvorgangs an geeigneten Stellen angeordnet werden. Wenn Teile aus hochfesten Dogal Stählen umformt werden, sollte bei der Produktion der Anordnung auf angemessenen Ausgleich für die Rückverformung geachtet werden. Dies ist auch bei der Entwicklung der Umformwerkzeuge von Bedeutung. Die Anwendung von Scheibenwirkung bei Stahlblechteilen gestattet eine bessere Ausnutzung des Werkstoffs. Versuchen Sie es zu vermeiden, strukturelle Teile aus Stahlblech als Platten mit lokalen Biegungen und damit hohen Biegebelastungen einzusetzen.



SSAB Tunnpåt AB ist der größte Stahlblechhersteller Skandinaviens und in Europa führend bei modernen hochfesten Stählen.

SSAB Tunnpåt AB, ein Unternehmen des Konzerns SSAB Swedish Steel, erwirtschaftet einen Jahresumsatz von 10 Milliarden schwedischen Kronen und beschäftigt ungefähr 4400 Mitarbeiter in Schweden. Unsere Produktionskapazität beträgt annähernd 2,8 Millionen Tonnen pro Jahr.

Unser Unternehmen verfolgt eine Umweltpolitik, die eine kontinuierliche Verbesserung aller Verfahren und Umwelteinrichtungen, sowie die Entwicklung der Umwelteigenschaften der Produkte über die gesamte Lebensdauer hinweg betrachtet, vorsieht.

Wir stellen in modernen und hocheffektiven Produktionslinien und Walzwerken folgende Produkte her:

**DOMEX®**

Warmgewalztes Bandblech

**DOCOL®**

Kaltgewalztes Feinblech

**DOGAL®**

Feuerverzinktes Feinblech

Unsere Kunden unterstützen wir bei der Auswahl der Stahlsorte, die ihre Wettbewerbsfähigkeit am stärksten erhöhen kann. Unsere Stärke ist die Qualität unserer Produkte, die Liefertreue und ein flexibler technischer Kundendienst.

ssabtunnplat.com

**Deutschland**

SSAB Swedish Steel GmbH  
Tel +49 211 91 25-0  
Tel +49 711 6 87 84-0  
ssab.de  
kontakt@ssab.com

**SSAB Tunnpåt AB**

SE-781 84 Borlänge  
Sweden  
Tel +46 243 700 00  
Fax +46 243 720 00  
office@ssabtunnplat.com  
ssabtunnplat.com

**Dänemark**

SSAB Svensk Stål A/S  
Tel +45 4320 5000  
ssab.dk

**Finnland**

OY SSAB Svenskt Stål AB  
Tel +358 9 686 6030  
ssab.fi

**Frankreich**

SSAB Swedish Steel SA  
Tel +33 1 55 61 91 00  
ssab.fr

**Großbritannien**

SSAB Swedish Steel Ltd  
Tel +44 1905 795794  
swedishsteel.co.uk

**Italien**

SSAB Swedish Steel S.p.A.  
Tel +39 030 90 58 811  
ssab.it

**Niederlande**

SSAB Swedish Steel BV  
Tel +31 24 67 90 550  
ssab.nl

**Norwegen**

SSAB Svensk Stål A/S  
Tel +47 23 11 85 80  
ssab.no

**Polen**

SSAB Swedish Steel Sp.z.o.o.  
Tel +48 602 72 59 85

**Portugal**

SSAB Swedish Steel  
Tel +351 256 371 610  
ssab.pt

**Spanien**

SSAB Swedish Steel SL  
Tel +34 91 300 5422  
ssab.es

**USA**

SSAB Swedish Steel Inc  
Tel +1 412 269 21 20  
swedishsteel.us

**Süd Afrika**

SSAB Swedish Steel Pty Ltd  
Tel +27 11 827 0311  
swedishsteel.co.za

**China**

SSAB Swedish Steel  
Tel +86 10 6466 3441  
swedishsteel.cn

**Korea**

SSAB Swedish Steel Ltd  
Tel +822 761 6172

**SSAB**  
SWEDISH STEEL