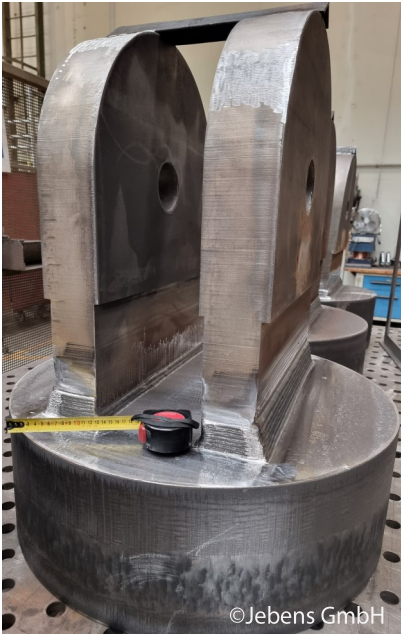




Schweißen

Hochfester DILLIMAX ist aufgrund seiner außergewöhnlich guten Homogenität ebenso wie seiner Reinheit sehr gut verarbeitbar. Zunehmende Blechdicken, ebenso wie zunehmende Streckgrenzen bedingen höhere Legierungsbestandteile. Dies erfordert eine sorgfältigere Verarbeitung der Bleche, insbesondere bezüglich der Wärmeführung beim Schweißen. DILLIMAX ist schweißgeeignet für alle gängigen Schweißverfahren.



Diese Hinweise zum Schweißen von DILLIMAX sind nach bestem Wissen und der Erfahrung von Dillinger entstanden. Sie sollen den Verarbeiter bei der Entwicklung der eigenen Verarbeitungs-prozedur unseres Werkstoffes unterstützen.

Die optimalen mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht ebenso wie die Fehlerfreiheit der Schweißungen ist durch Beach-tung der gesamten Prozesskette und der Schaffung geeigneter Schweißbedingungen zu erreichen.

Allgemeine Regeln der Schweißtechnik ebenso wie die Verarbei-tungsempfehlungen nach EN 1011 sind zu beachten. Bei der Verarbeitung sind die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen zu treffen.

Tabelle 1 Schweißverfahren

Verfahren	Kurzbe- zeichnung	Energie- quelle	Wirkungsgrad faktor k	Anwendbarkeit
Unterpulverschweißen	UP	Lichtbogen	1	bis DILLIMAX 690 möglich
Lichtbogenhandschweißen	E-Hand	Lichtbogen	0,8	bis DILLIMAX 890 möglich
Schutzgasschweißen, wie Metall Aktiv Gas	MAG	Lichtbogen	0,8	bis DILLIMAX 1100 möglich

Überblick schweißtechnischer Parameter

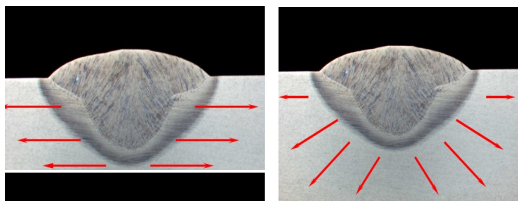
Wärmeeinbringen

Spannung [V]:	U
Stromstärke [A]:	I
Vorschub [mm/s]:	v
Leistung P [Watt, J/s]: Spannung · Stromstärke	(U · I)
Streckenenergie E [J/mm]: Leistung / Geschwindigkeit (P / v):	(U · I) / v · (60/1000)

Wirkungsgrad -> Strahlung

Wärmeeinbringen Q: $E \cdot k$ (k = Wirkungsgrad s. EN 1011)

Zwei- und dreidimensionaler Wärmeübergang



2 D bei t = 20 mm

3 D bei t = 35 mm

Die während des Schweißvorgang eingebrachte Wärmeenergie fließt senkrecht oder parallel zur Blechoberfläche ab. Insbesondere bei Blechdicken < 20 mm ist das Wärmeeinbringen zu begrenzen, um ein langsames Abkühlen der Schweißnaht zu verhindern. Der Übergang von zwei- nach dreidimensional wird bei großen Blechdicken vom Temperatur- und Wärmeeinbringen beeinflusst.

Kohlenstoffäquivalente

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Cu+Ni)/15$$

$$CET = C + (Mn+Mo)/10 + (Cr+Cu)/20 + Ni/40$$

Vorwärmtemperatur T_0 nach EN 1011-2 Methode B¹⁾ zur Vermeidung von Wasserstoffinduzierten Kaltrissen

$$T_0 = 700 CET + 160 \tanh(t/35) + 62 HD \exp 0.35 + (53 CET - 32) Q - 330$$

in Abhängigkeit von:

Kohlenstoffäquivalent CET; Blechdicke t; Wasserstoffgehalt HD; Wärmeeinbringen Q

$t_{8/5}$ -Zeit

Abkühlzeit, in der bei einer Schweißnaht der Temperaturbereich von 800 °C bis 500 °C durchlaufen wird. Die $t_{8/5}$ -Zeit kann nach der Norm EN 1011 Methode B berechnet werden.

Empfehlungen zur Berechnung der genannten Schweißparameter und der Vorwärmtemperatur können mit Hilfe der Ist-Analyse und weiterer Daten dem [Dillinger E-Service](#) entnommen werden.

1) Nähere Erläuterungen sind EN 1011-2 zu entnehmen.

Schweißnaht inklusive Schweißnahtvorbereitung

Die Schweißnahtvorbereitung hat einen signifikanten Einfluss auf die Qualität der Schweißnaht.

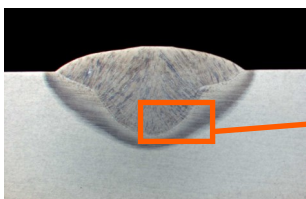


Kantengefräste Bleche

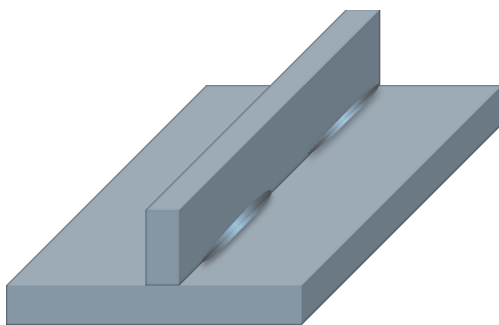
Die Schweißnahtvorbereitung kann durch spanende Bearbeitung oder thermisches Schneiden erfolgen. Bei Schweißbeginn muss der Nahtbereich metallisch blank, trocken und frei von Brennschneidschlacke, Rost, Zunder, Farbe und sonstigen Verunreinigungen sein.

Ein Schutzprimer ist ggf. zu entfernen oder kann je nach Primer auch überschweißt werden (siehe hierzu die Broschüre von Dillinger „Regenjacke inklusive“).

Schweißnaht



Heftschweißung



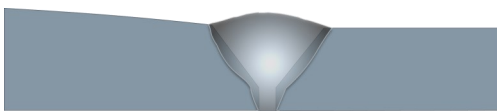
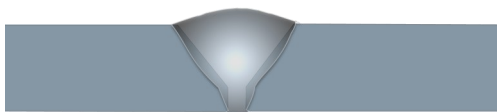
Die Mindestlänge der Heftraupe sollte 50 mm betragen. Bei Blechdicken:

< 12 mm mindestens das 4-fache des dickeren, Teils.

> 50 mm (bzw. $R_e > 500$ MPa) sollte eine Vergrößerung von Dicke und Länge der Heftraupe in Betracht gezogen werden.

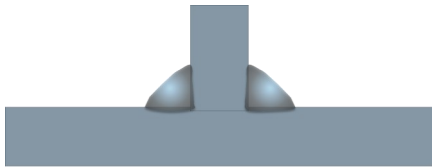
Die Heftschweißung sollte nicht unmittelbar an der Außenkante beginnen. Die Hefstellen können ebenso mit weichen Schweißzusatzwerkstoffen hergestellt werden.

Stumpfstoß



Stumpfstoße von Teilen mit ungleichen Querschnitten, die in einer Richtung angeordnet sind können mit einer Neigung von weniger als 1:4 angeglichen werden.

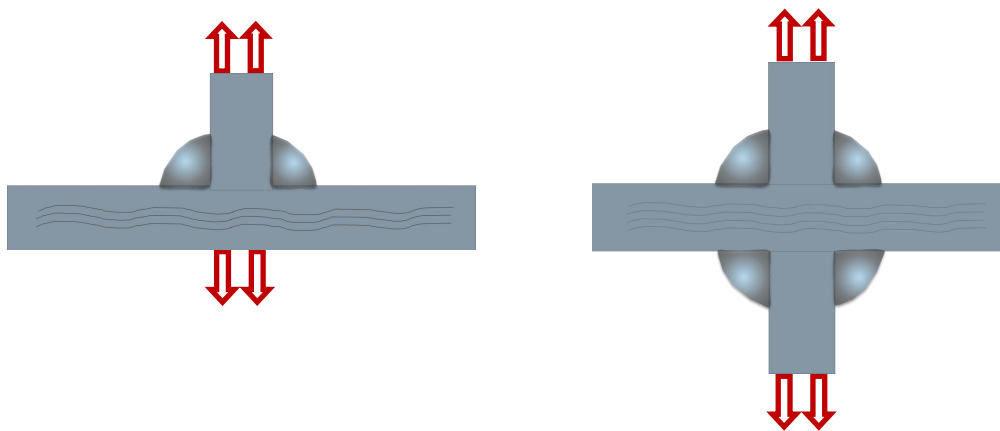
Doppelkehlnaht



Von der üblichen technischen Wärmebehandlung unterscheidet sich die Schweißnaht durch:

- ♦ hohe Aufheizgeschwindigkeit
- ♦ hohe Maximaltemperatur
- ♦ kurze Verweildauer
- ♦ hohe Abkühlgeschwindigkeit

Terrassenbruch

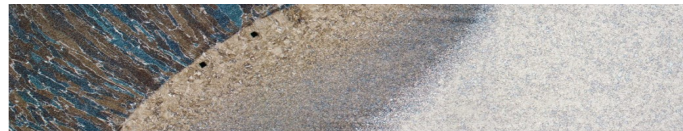
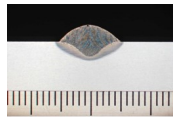


Werden hohe Spannungen durch Zug- oder Biegekräfte in Dickenrichtung z.B. bei T-Stößen erwartet, sind konstruktive Gegenmaßnahmen zu treffen um Terrassenbruch zu vermeiden.

Das Einhalten bestimmter Mindestanforderungen der Brucheinschnürung in Dickenrichtung wird nach EN 10164 bestimmt und kann im Auftragsfall vereinbart werden.

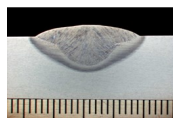
DILLIMAX hat durch seinen niedrigen Anteil an Begleitelementen und dem hohen Dickenverformungsgrad sehr gute Voraussetzungen diesen Beanspruchungen standzuhalten. Falls sogenannte Z-Güten mit verbesserten Eigenschaften in Dickenrichtung benötigt werden, sprechen Sie uns im Vorfeld an.

Schweißnaht bei unterschiedlichem Wärmeeinbringen



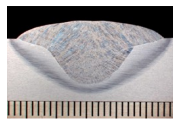
MAG - 0,65 kJ/mm

$t_{8/5}$ 4 s



E-Hand - 1,8 kJ/mm

$t_{8/5}$ 12 s



E-Hand - 3,5 kJ/mm

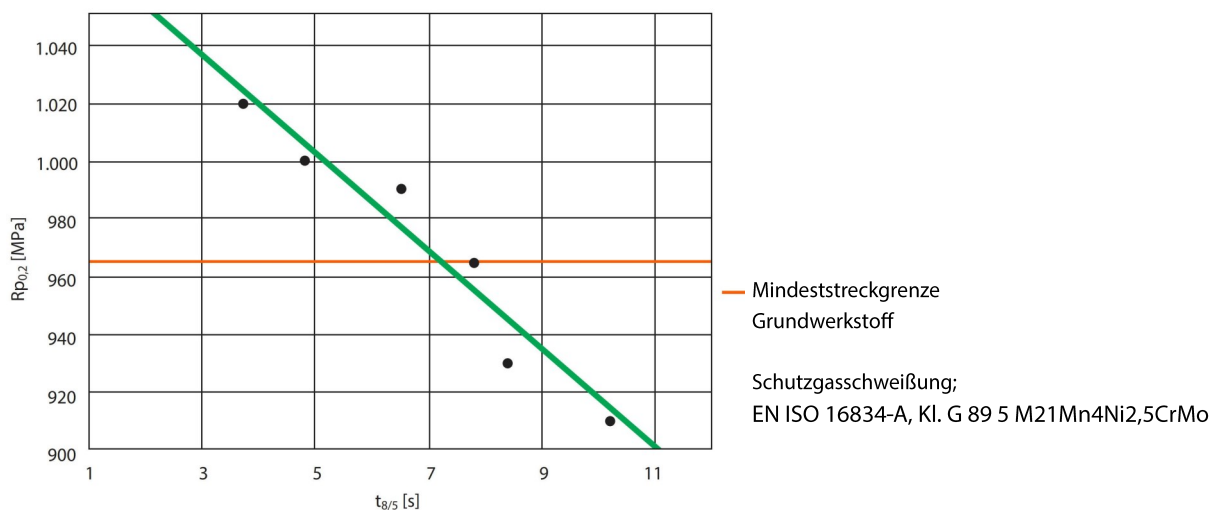
$t_{8/5}$ 38 s

Streckenenergie und Temperaturzeitverlauf beim Schweißen

Zur Kennzeichnung des Temperaturzeitverlaufes beim Schweißen wählt man im Allgemeinen die Abkühlzeit $t_{8/5}$.

Um sicherzustellen, dass die Eigenschaften des Stahles durch die thermische Beanspruchung beim Schweißen nicht unzulässig beeinträchtigt werden, ist es erforderlich, die Abkühlzeit, und damit insbesondere die Streckenergie nach oben zu begrenzen. Folgende Grafik zeigt, wie sich eine zunehmende $t_{8/5}$ -Zeit auf die Streckgrenze ($R_{p0,2}$) des Schweißgutes auswirkt. Doch auch nach unten ist eine Begrenzung der $t_{8/5}$ -Zeit notwendig: eine zu schnelle Abkühlung kann eine starke Aufhärtung der Wärmeeinflusszone bewirken. Außerdem wird die Wasserstoffdiffusion behindert, was die wasserstoffinduzierte Kaltrissbildung in Schweißgut und Wärmeeinflusszone begünstigt.

Auswirkungen der $t_{8/5}$ -Zeit auf die Streckgrenze des Schweißgutes von DILLIMAX 965
(10 mm Blechdicke, Quersugproben)



Die $t_{8/5}$ -Zeit wird in erster Linie bestimmt von der Streckenenergie, der Vorwärm- bzw. Zwischenlagentemperatur und der Nahtkonfiguration, vor allem bei dünnen Blechen.

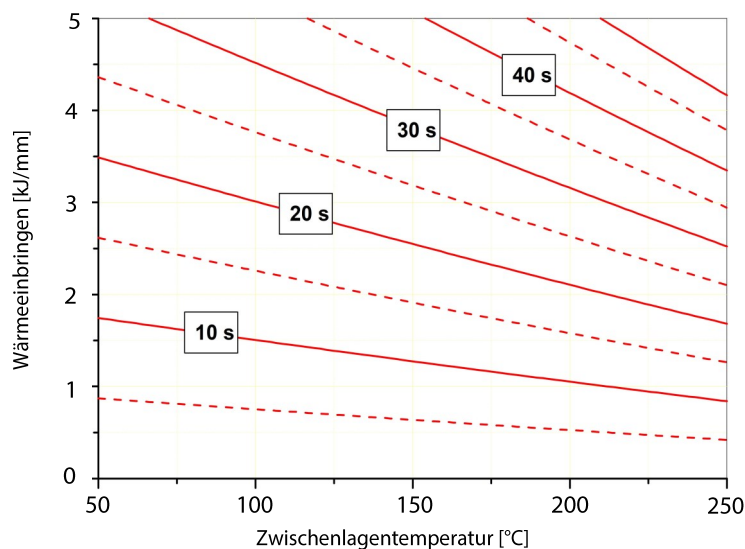
Folgender Daumenwert zur Bestimmung der Abkühlzeit $t_{8/5}$ kann bei Blechdicken größer 25 mm (3-dimensional) und einer Zwischenlagentemperatur von 200 °C angewendet werden:

Die Abkühlzeit [s] ist ca. das 10-fache des Wärmeeinbringens.

Beispiel:

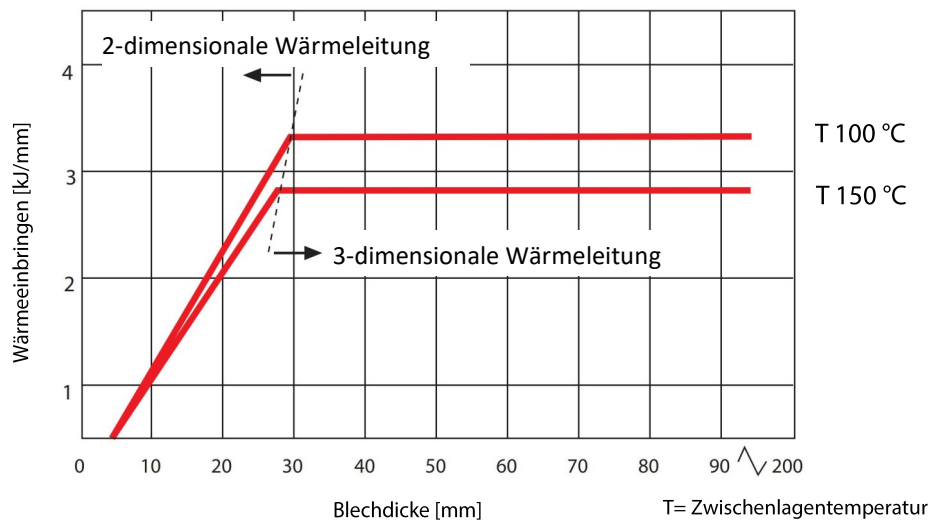
Blechdicke 70 mm, $T = 200$ °C und Wärmeeinbringung von 2.5 kJ/mm ergibt $t_{8/5}$ von ca. 25 s

Abhängigkeit der Abkühlzeit $t_{8/5}$ bei 3-dimensionalem Wärmeeinbringen [kJ/mm]

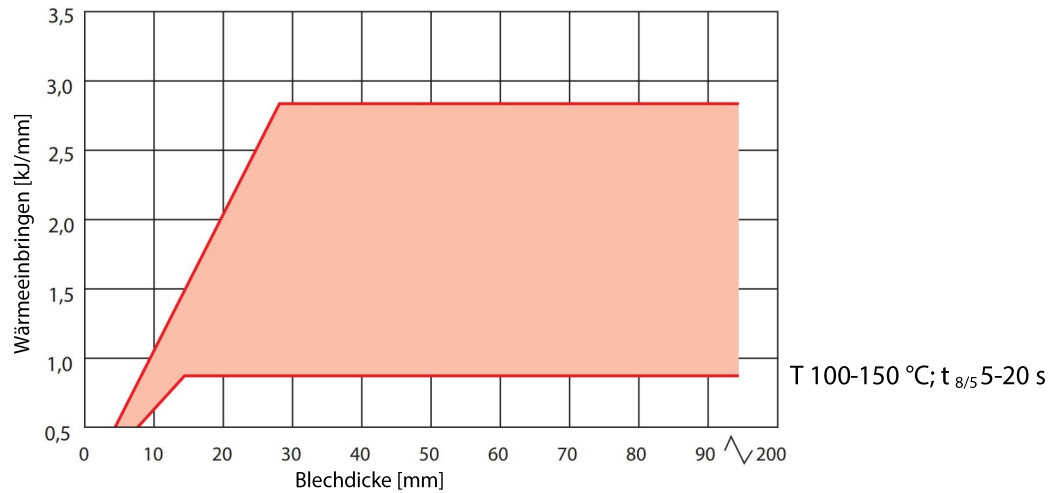


Empfehlungen zur Wahl geeigneter $t_{8/5}$ Zeiten und maximal zulässiges Wärmeeinbringen beim Schweißen von DILLIMAX

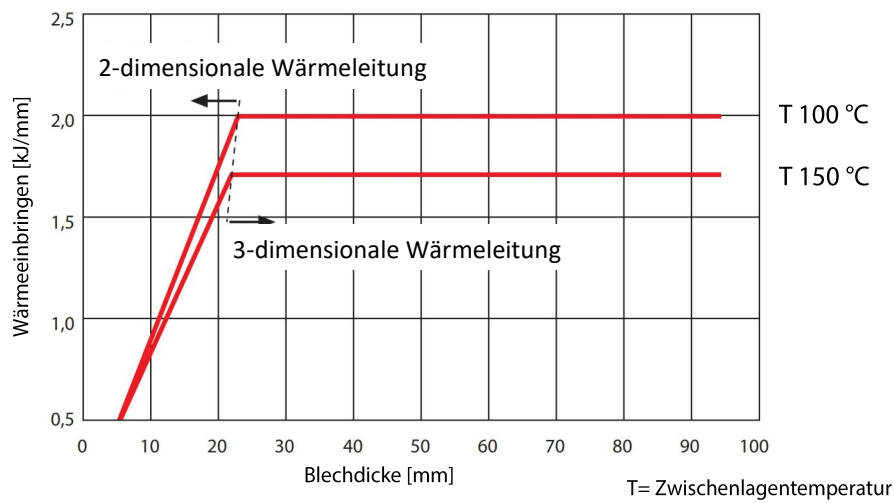
Maximales Wärmeeinbringen für DILLIMAX 690 um $t_{8/5}$ -Zeit < 20 s einzuhalten



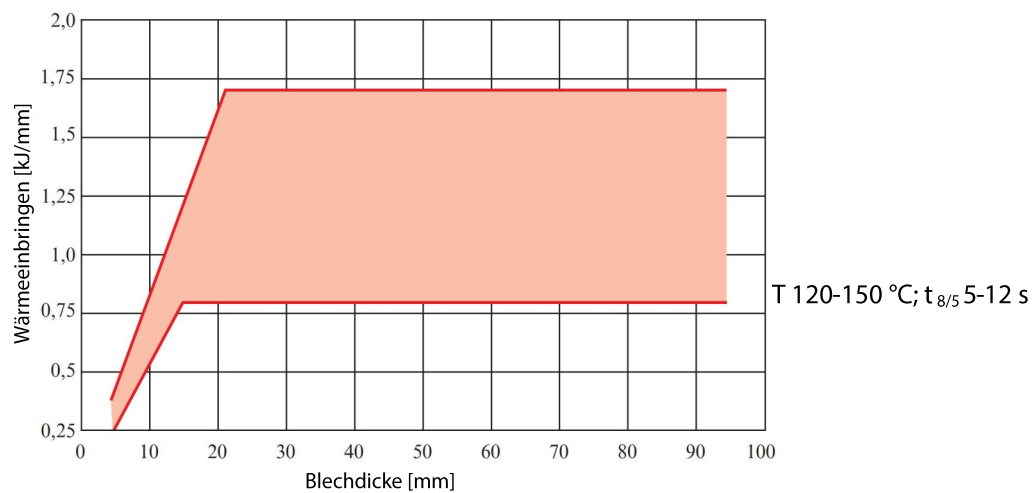
Empfohlener Arbeitsbereich für DILLIMAX 690



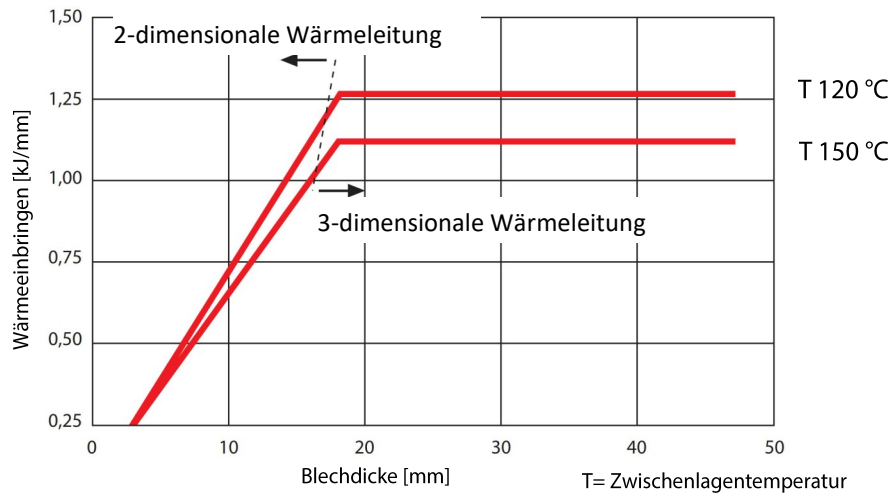
Maximales Wärmeeinbringen um DILLIMAX 890 um $t_{8/5}$ -Zeit < 12 s einzuhalten



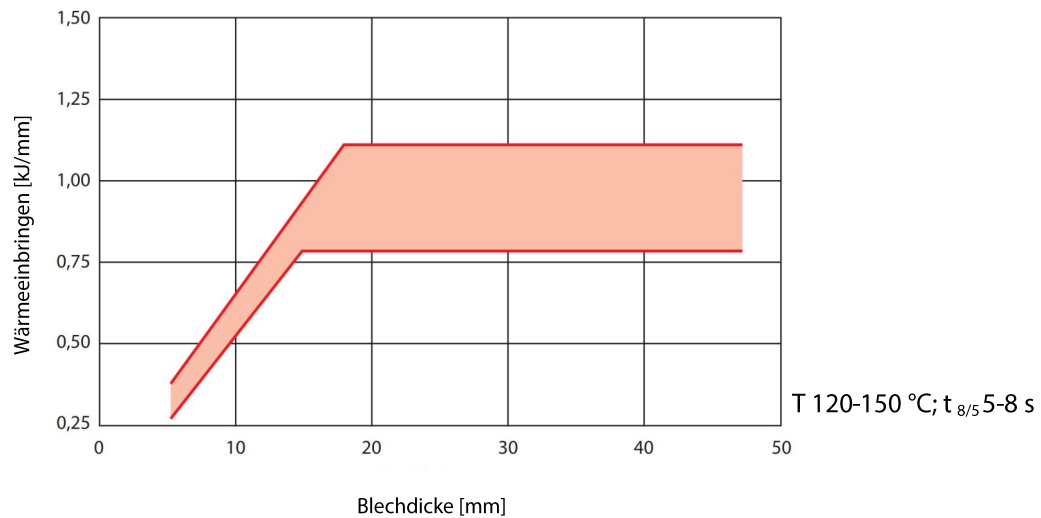
Empfohlener Arbeitsbereich für DILLIMAX 890



Maximales Wärmeeinbringen um DILLIMAX 965 um $t_{8/5}$ -Zeit < 8 s einzuhalten



Empfohlener Arbeitsbereich für DILLIMAX 965



Vermeidung von Kaltrissen

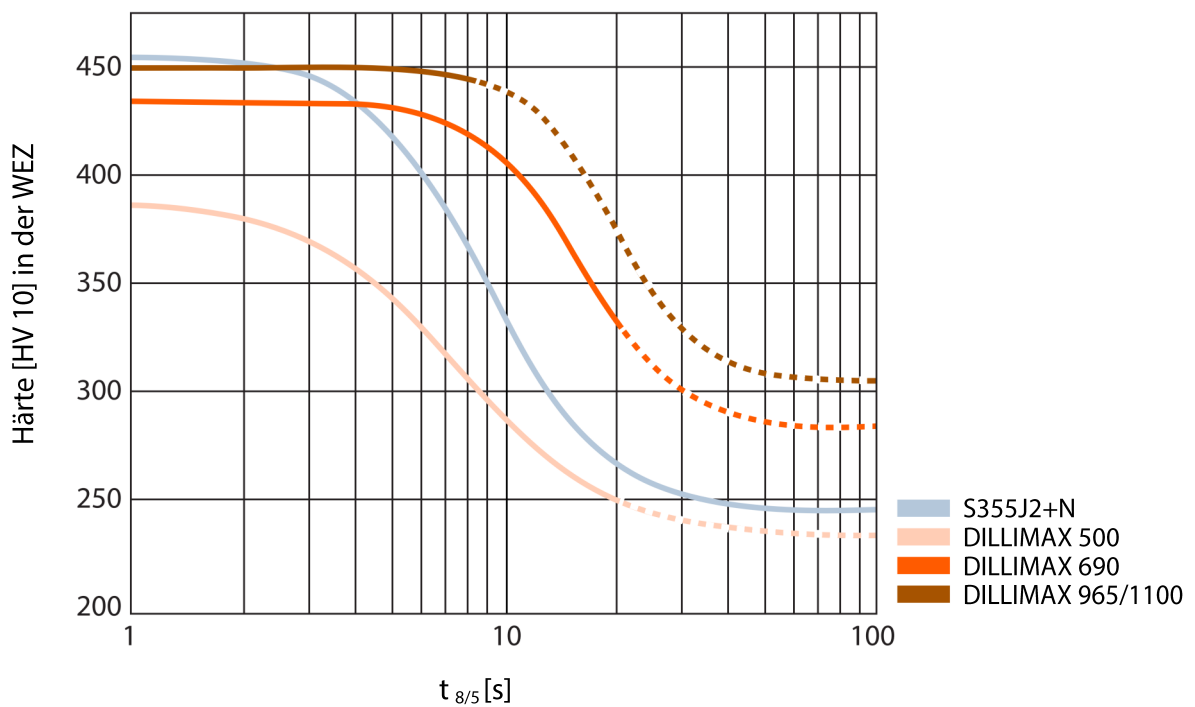
Wie alle hochfesten vergüteten Feinkornbaustähle neigen auch DILLIMAX-Stähle unter ungünstigen Bedingungen zur Bildung von Kaltrissen im Bereich der Schweißnaht.

Diese Risse können mit einer Verzögerung von 48 Stunden nach dem Schweißen auftreten. Dies muss bei der Rissprüfung beachtet werden.

Kaltrisse lassen sich durch geeignete Vorsichtsmaßnahmen verhindern:

- ♦ Minimierung von Wasserstoff im Schweißgut
- ♦ Wasserstoff genügend Zeit zum Ausdiffundieren geben
- ♦ Vermeiden von Verunreinigungen und Feuchtigkeit im Nahtbereich
- ♦ Aufhärtung der Wärmeeinflusszone beachten (nur bedingt zu steuern)

Typische Werte für die Aufhärtung der Wärmeeinflusszone von DILLIMAX-Stählen bei verschiedenen $t_{8/5}$ -Zeiten im Vergleich mit konventionellem S355J2+N nach der Abkühlung



Max. $t_{8/5}$ -Werte, min 27 J bei -40°C Diese Werte gelten bei Verwendung geeigneter Zusatzwerkstoffe der entsprechenden Streckgrenzenklassen	
DILLIMAX 500 B/T/E	20 s
DILLIMAX 550 B/T/E	20 s
DILLIMAX 690 B/T/E	20 s
DILLIMAX 890 B/T/E	12 s
DILLIMAX 965 B/T/E	8 s
DILLIMAX 1100	2 s

Hauptverantwortlich für die Kaltrissbildung ist die Ablagerung von molekularem Wasserstoff an den Korngrenzen des Schweißgutgefüges und an der Schmelzlinie. Der Wasserstoff wird über Verunreinigungen, feuchte Schweißzusätze, Feuchtigkeitfilme auf den Schweißkanten oder die den Lichtbogen umgebende Atmosphäre eingebracht. Die Wahl geeigneter Schweißzusatzwerkstoffe und deren trockene Lagerung, vor allem das Reinigen und Vorwärmen des zu schweißenden Bauteils vermeidet Wasserstoffeintrag.

Vorwärmen

Das Vorwärmen bewirkt eine verzögerte Abkühlung des Bauteils nach dem Schweißen. Dadurch hat der Wasserstoff genügend Zeit zum Ausdiffundieren. Dieser Vorgang findet hauptsächlich im Temperaturbereich zwischen 300 °C und 100 °C statt.

Unter Vorwärmen ist nicht nur ein Erwärmen des Nahtbereiches zu Beginn des Schweißens zu verstehen, sondern das Einhalten einer bestimmten Mindesttemperatur während des gesamten Schweißens (Arbeitstemperatur). Der vorgewärmte Bereich sollte beiderseits der Naht mindestens 100 mm breit sein. Die Vorwärmtemperatur ist abhängig von: Kohlenstoffäquivalent, Wasserstoff, wärmeeinbringen und Blechdicke.

Die Berechnungsgrundlage für die Vorwärmtemperatur ist die tatsächliche chemische Analyse, die im entsprechenden Zeugnis ausgewiesen ist.

Anhaltswerte finden Sie in folgender Tabelle:

Blechdicke [mm]	DILLIMAX 690		DILLIMAX 890		DILLIMAX 965		DILLIMAX 1100	
	CEV (CET) typisch	CEV EN 10025-6	CEV (CET) typisch	CEV EN 10025-6	CEV (CET) typisch	CEV EN 10025-6	CEV (CET) typisch	CEV EN 10025-6
t= 10	0,45 (0,34)	0,65	0,57 (0,35)	0,72	0,57 (0,35)	0,82	0,57 (0,35)	-
t= 50	0,51 (0,34)	0,65	0,54 (0,35)	0,72	0,54 (0,35)	0,82	-	
t= 100	0,59 (0,37)	0,77	0,66 (0,39)	0,82	0,66 (0,39)	0,85	-	
t= 150	0,63 (0,38)	0,83	-	-	-	-	-	
t= 200	0,71 (0,41)	0,83	-	-	-	-	-	
t= 290	0,71 (0,41)	-	-	-	-	-	-	

CEV = $C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Cu+Ni)/15$

CET = $C + (Mn+Mo)/10 + (Cr+Cu)/20 + Ni/40$

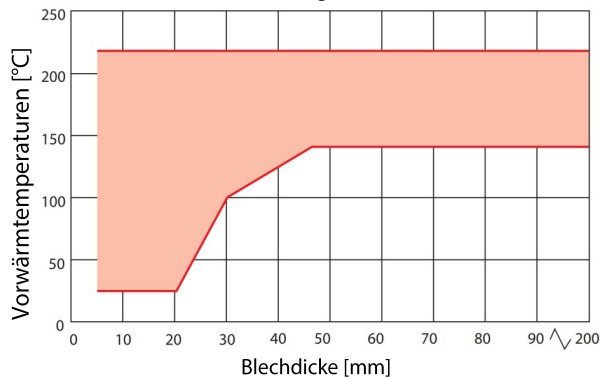
- ♦ Werden zwei Bleche gleicher Güte zusammengefügt, ist die Vorwärmtemperatur vom dickeren Blech einzuhalten.
- ♦ Werden zwei Bleche mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung zusammengefügt, wird die minimal nötige Vorwärmtemperatur vom Blech mit der höchsten Vorwärmtemperatur bestimmt.
- ♦ Die Breite der erwärmten Zone sollte mindestens 4 mal so groß wie die Blechdicke sein. Mindestens aber 100 mm breit.

Empfehlungen zu Vorwärmtemperaturen beim Schweißen von DILLIMAX

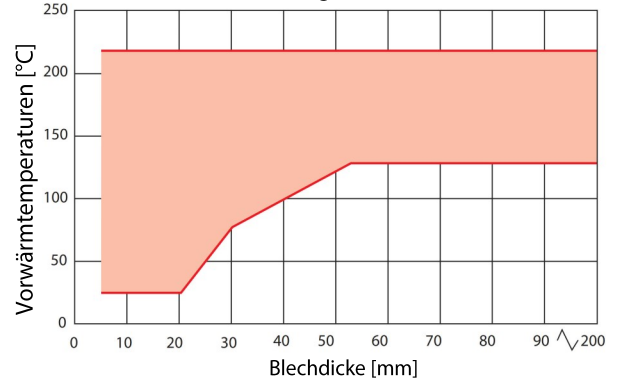
Empfohlene Vorwärmtemperaturen in Abhängigkeit der Blechdicke für DILLIMAX

DILLIMAX 690

E- Handschweißen
(1,5 kJ/mm, HD 5 ml/100g)

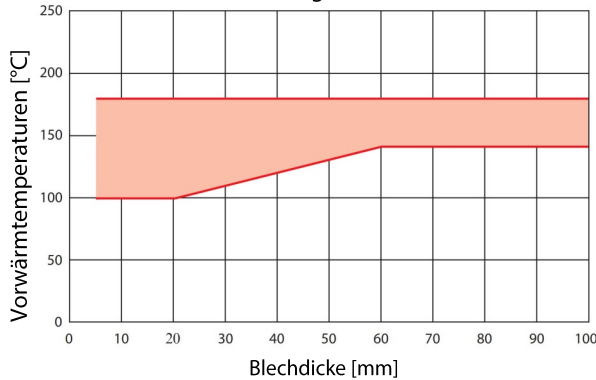


MAG - Schweißen
(1,0 kJ/mm, HD 2 ml/100g)

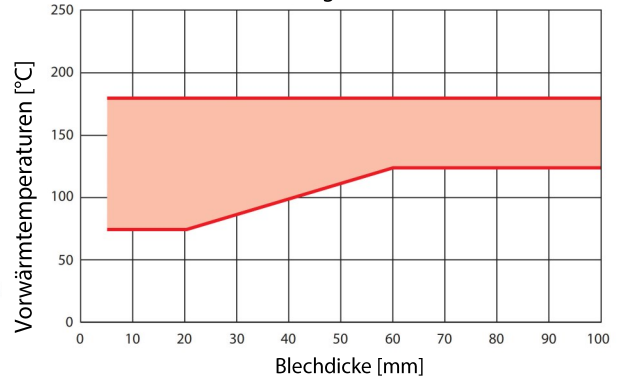


DILLIMAX 890

MAG - Handschweißen/Stumpfnah
(1,0 kJ/mm, HD 2 ml/100g)

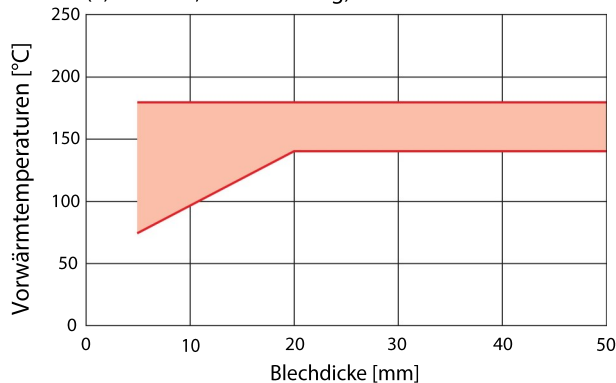


MAG - Schweißen/Kehlnaht
(1,5 kJ/mm, HD 2 ml/100g)

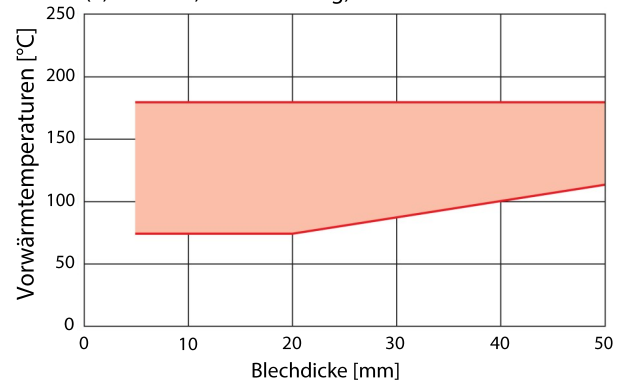


DILLIMAX 965

MAG - Handschweißen/Stumpfnah
(1,0 kJ/mm, HD 2 ml/100g)



MAG - Schweißen/Kehlnaht
(1,5 kJ/mm, HD 2 ml/100g)



Die Gefahr, dass Risse in Schweißverbindungen infolge von Eigenspannungen auftreten, ist bei erst teilweise gefülltem Nahtquerschnitt besonders groß. Deshalb sollte eine Abkühlung unter die vorgeschriebene Arbeitstemperatur während des gesamten Schweißens vermieden werden.



Eigenspannungen verringern durch:

- ♦ vermeiden von schroffen Querschnittsübergängen und Anhäufungen von Schweißnähten
- ♦ gute Anpassung der einzelnen Bauteile
- ♦ möglichst kerbfreie Ausführung der Schweißnähte
- ♦ wählen einer günstigen Schweißfolge, sodass die Bauteile vor allem möglichst lange frei schrumpfen können

Bei Blechdicken über 30 mm und Schweißverfahren, die zu einem höheren Wasserstoffeintrag (beispielsweise UP-Schweißen) führen, empfiehlt es sich, unmittelbar nach dem Schweißen eine Wasserstoffarmglühung bei 200 °C durchzuführen.

Die Glühdauer richtet sich dabei nach der Dicke des Bauteils und sollte zwei Stunden nicht unterschreiten.



Spannungsarmglühen

DILLIMAX-Stähle und deren werkstoffgemäß ausgeführte Schweißverbindungen weisen eine ausreichend hohe Zähigkeit auf, so dass sie auch in hochbeanspruchten Bauteilen im Allgemeinen ohne Spannungsarmglühen eingesetzt werden können.

Wenn aufgrund von Bauvorschriften oder aus konstruktiven Gründen ein Spannungsarmglühen notwendig ist, wird eine Rücksprache mit DILLINGER empfohlen.

Die höchste Spannungsarmglühtemperatur muss mindestens 40 °C unterhalb der Anlass-temperatur liegen. Die Haltedauer beim Glühen sollte 60 Minuten nicht überschreiten.

Muss der Verarbeiter andere Temperaturen oder Haltedauern anwenden, kann dies bereits im Anfragestadium bei Dillinger angefragt werden.

Sind längere Haltedauern vorgeschrieben, so ist die Spannungsarmglühtemperatur gegenüber der Anlass-temperatur noch weiter abzusenken. Beim Aufheizen auf Glüh-temperatur ist, vor allem bei hohem Eigenspannungsniveau der Bauteile und großer Erzeugnisdicke, darauf zu achten, dass starke Temperaturunterschiede im Bauteil vermieden werden. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung und Wärmebehandlung verfügen die DILLIMAX-Stähle über eine relativ hohe Warmstreckgrenze. Deshalb ist bei ihnen der Spannungsabbau beim Spannungsarmglühen weniger vollständig als bei einfachen Baustählen. Das Spannungsarmglühen des DILLIMAX 1100 ist nicht möglich, ohne die Eigenschaften zu stark zu verändern.

Schweißzusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe

Die Schweißzusatzwerkstoffe sind in Abhängigkeit von den Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften zu wählen. Wurzelschweißungen können wegen der möglichen Aufmischung des Schweißgutes durch den Grundwerkstoff mit Schweißzusatzwerkstoffen geschweißt werden, die ein weiches Schweißgut als die zugehörigen Füll- und Decklagen ergeben. Das Gleiche gilt für nicht vollbeanspruchte Kehlnähte, auch hier ist es in vielen Fällen möglich, durch eine Erhöhung der Nahtdicke auf „weichere“ Zusatzwerkstoffe zurückzugreifen.

Beim Lichtbogenhandschweißen werden wegen der Zähigkeit grundsätzlich Stabelektroden mit kalkbasischer Umhüllung verwendet. Basisch umhüllte Stabelektroden haben zwei herausragende Eigenschaften: Die Kerbschlagarbeit des Schweißgutes ist höher (besonders bei tiefen Temperaturen), und ihr Wasserstoffeintrag ist geringer als bei allen anderen Umhüllungstypen.

Rücktrocknung und Lagerung nach Angaben des Herstellers sind dabei unbedingt zu beachten. Aus den gleichen Überlegungen heraus sollten beim Unterpulverschweißen nur basische Pulver verwendet werden.

Folgende Tabelle zeigt eine exemplarische Zusammenstellung von Schweißzusatzwerkstoffen, eingeteilt nach Norm und Schweißverfahren.

	Klassifikation		
	E-Handschiweißen	UP-Schweißen	Schutzgasschweißen (MAG)
DILLIMAX 500	SFA/AWS A5.5 : E90* EN ISO 18275-A : E 55*	SFA/AWS A5.23 : F9* EN ISO 14171-A : S50* EN ISO 26304-A : S*	SFA/AWS A5.29 : E7*T* EN ISO 17632-A : T 42* EN ISO 16834-A : G 55 * SFA/AWS A5.28 : ER100S* SFA/AWS A5.28 : E90* SFA/AWS A5.29 : E9*T* EN ISO 18276-A : T 55* EN ISO 16834-A : G 55*
DILLIMAX 550	SFA/AWS A5.5 : E100* EN ISO 18275-A : E 62*	SFA/AWS A5.23 : EG* EN ISO 14171-A : S3* EN ISO 26304-A : S3*	EN ISO 18276-A : T 55* SFA/AWS A5.28 : ER100S* SFA/AWS A5.28 : E90* SFA/AWS A5.29 : E91* EN ISO 16834-A : G 69*
DILLIMAX 690	SFA/AWS A5.5 : E110* EN ISO 18275-A : E 69* SFA/AWS A5.5 : E110* EN ISO 18275-A : E 69*	SFA/AWS A5.23 : EG EN ISO 26304-A : S3Ni2,5CrMo EN ISO 26304-B : (SUN4C1M3)	EN ISO 18276-A : T 69* EN ISO 18276-B : T 76* EN ISO 17632-A T69* SFA/AWS A5.28 : ER110* SFA/AWS A5.36 : E111* EN ISO 16834-A G 89*
DILLIMAX 890	EN ISO 18275-A : E 89*	-	EN ISO 18276-A : T 89* SFA/AWS A5.28 ER120*
DILLIMAX 965	(EN ISO 18275-A : E 89*)	-	EN ISO 16834-A G 89* (EN ISO 18276-A : T 89*) (SFA/AWS A5.28 ER120*) (EN ISO 16834-A G 89*)
DILLIMAX 1100	(EN ISO 18275-A : E 89*)	-	(EN ISO 18276-A : T 89*) (SFA/AWS A5.28 ER120*)

() = Schweißgut mit geringerer Festigkeit als Grundmaterial

Checkliste zum Schweißen:

- ♦ Schweißnahtvorbereitung: Nahtbereich muss metallisch blank, trocken und frei von Brennschneidschlacke, Rost, Zunder, Farbe und sonstigen Verunreinigungen sein
- ♦ Geeignete Zusatzwerkstoffe
- ♦ Minimierung vom Wasserstoffeintrag
- ♦ Beachten von Vorwärm- und Zwischenlagentemperaturen
- ♦ Wählen geeigneter Streckenenergie
- ♦ Verringern der Eigenspannungen
- ♦ Einhaltung der höchsten Spannungsarmglühtemperatur: Sie muss mindestens 40 °C unterhalb der Anlasstemperatur liegen. Die Haltedauer beim Glühen sollte 60 Minuten nicht überschreiten.

Allgemeiner Hinweis (Haftung):

Angaben über die Beschaffenheit oder Verwendbarkeit von Materialien bzw. Erzeugnissen sind lediglich Beschreibungen. Zusicherungen bezüglich des Vorhandenseins von Eigenschaften oder der Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck bedürfen stets besonderer schriftlicher Vereinbarungen.

Diese Verarbeitungshinweise unterliegen Aktualisierungen. Maßgebend ist die jeweils aktuelle Fassung, die auf Anforderung versandt wird oder unter www.dillinger.de abgerufen werden kann.

Kontakt

AG der Dillinger Hüttenwerke
Postfach 1580
66748 Dillingen / Saar
Deutschland

Tel.: +49 6831 47 3452
Fax: +49 6831 47 992025
E-Mail: info@dillinger.biz

Ihren Ansprechpartner finden Sie unter www.dillinger.de

DILLIMAX kann ab Lager bezogen werden bei:



Ancofer Stahlhandel GmbH
Rheinstraße 163
45478 Mülheim an der Ruhr
Deutschland

Tel.: +49 208 5802-0
E-Mail: info@as.dillinger.biz

Ihren Ansprechpartner finden Sie unter www.ancofer.de

Ausgabe 12/2022