

ICS 83.120

**Beurteilung der Bauteilqualität nach der trennenden Bearbeitung von
faserverstärkten Kunststoffen;
Text Deutsch und Englisch**

Evaluation of the quality of machined parts made of fibre reinforced plastics;
Text in German and English

Evaluation de la qualité des pièces usinées en plastiques renforcés de fibres;
Texte en allemand et anglais

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer PAS erstellt.

Gesamtumfang 47 Seiten

Dieses Dokument wurde durch die im Vorwort genannten Verfasser erarbeitet und verabschiedet.

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Kennwerte, Symbole und Einheiten	7
5 Arten von Imperfektionen.....	8
6 Prüfgeräte.....	9
7 Prüfverfahren	10
7.1 Allgemeines	10
7.2 Auftreten einer Imperfektion	10
7.3 Messung einer Imperfektion	11
7.4 Aufteilung einer Imperfektion.....	13
8 Berechnung.....	16
8.1 Allgemeines	16
8.2 Berechnung der Imperfektionszahl.....	16
8.3 Berechnung der Imperfektionsindizes.....	18
8.4 Berechnung des Qualitätsindex	20
9 Prüfbericht.....	21
Anhang A (informativ) Prüfbericht nach DIN SPEC 25713.....	22
Anhang B (informativ) Prozessablauf zur DIN SPEC 25713.....	23

Vorwort

Diese DIN SPEC wurde nach dem PAS-Verfahren erarbeitet. Die Erarbeitung von DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren erfolgt in Workshops und nicht zwingend unter Einbeziehung aller interessierten Kreise.

Die Erarbeitung und Verabschiedung des Dokuments erfolgte durch die nachfolgend genannten Initiatoren und Verfasser:

- TU Wien, Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik, Richard Zemann;
- HUFSCHMIED Zerspanungssysteme GmbH, Ralph R. Hufschmied und Andreas Frank;
- APEX Engineering, Michaela Hausammann;
- Carbon Composites e. V., Johann-Peter Scheitle.

Für dieses Thema bestehen derzeit keine Normen.

DIN SPEC sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

Für diese DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Trotz großer Anstrengungen zur Sicherstellung der Korrektheit, Verlässlichkeit und Präzision technischer und nicht-technischer Beschreibungen kann der Workshop weder eine explizite noch eine implizite Gewährleistung für die Korrektheit des Dokuments übernehmen. Die Benutzung dieses Dokuments geschieht in dem Bewusstsein, dass der Workshop für Schäden oder Verluste jeglicher Art nicht haftbar gemacht werden kann. Die Anwendung der vorliegenden DIN SPEC entbindet den Nutzer nicht von der Verantwortung für eigenes Handeln und geschieht damit auf eigene Gefahr.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Einleitung

In der trennenden Bearbeitung von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen (FVK) entstehen durch die unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften spezielle Imperfektionen wie Ausfransungen, Delaminationen und Absplitterungen. Da kein einheitliches Verfahren zur Beurteilung der entstehenden Imperfektionen vorhanden ist, kommt es zu Unklarheiten bei der Beurteilung der Bauteilqualität. Auf Basis von Forschungsaktivitäten an der TU Wien wurde ein Beurteilungsverfahren entwickelt und mehrfach angewandt. Dieses Verfahren wird nun im Zuge dieser DIN SPEC öffentlich zugänglich gemacht.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt ein zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Beurteilung der Bauteilqualität nach der trennenden Bearbeitung von faserverstärkten Kunststoffen (FVK). Die Beurteilung kann in der Produktion ohne aufwendige Messgeräte durchgeführt werden. Das Verfahren ist uneingeschränkt für alle FVK einsetzbar und behandelt die Imperfektionen (Ausfransungen, Delaminationen und Absplitterungen) an den Bearbeitungskanten beispielsweise nach Fräs- und Bohrbearbeitungen. Hierbei werden vornehmlich die Bauteildecklagen beurteilt.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Imperfektion

Abweichung vom theoretischen Sollzustand

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser DIN SPEC werden die drei Imperfektionen Ausfransung, Delamination und Absplitterung beurteilt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Imperfektion wird durch den zugehörigen Index (siehe Tabelle 1) angegeben.

3.2

Ausfransung

(en: fraying)

Werkstoffrest bzw. -überstand, der nach der trennenden Bearbeitung weiterhin stoffschlüssig mit dem Bauteil verbunden ist und dessen Entfernung Nachbearbeitung erfordert

Anmerkung 1 zum Begriff: Der zugehörige Kennwert ist der Ausfransungsindex, der mit *fi* abgekürzt wird.

3.3

Delamination

(en: delamination)

Verlust der mechanischen Bindung zwischen benachbarten Schichten oder Fasersträngen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der zugehörige Kennwert ist der Delaminationsindex, der mit *di* abgekürzt wird.

3.4

Absplitterung

(en: splintering)

ungewollt gänzlich abgetrennter Werkstoffbereich an der Bearbeitungskante

Anmerkung 1 zum Begriff: Der zugehörige Kennwert ist der Absplitterungsindex, der mit *si* abgekürzt wird.

3.5

Bearbeitungskante

durch die trennende Bearbeitung erzeugte Bauteilgrenze

3.6

Toleranzgrenze

parallel zur Bearbeitungskante verlaufende, fiktive Linie, ab deren Überschreitung man eine Imperfektion vermisst

3.7

Toleranzgrenzwert

Distanz zwischen der Toleranzgrenze und der idealisierten Bearbeitungskante

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird im jeweiligen Kurvenpunkt der Bearbeitungskante senkrecht zu seiner Tangente gemessen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Wert der Grenze sollte erfahrungsgemäß $0,2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ betragen.

3.8

Imperfektionsmaß

Messlänge oder -breite einer Imperfektion

Anmerkung 1 zum Begriff: Es gibt zu jeder Imperfektion ein Längen- und ein Breitenmaß in mm.

3.9

Imperfektionsgrenzwert

Wert, ab dem eine Imperfektion ein inakzeptables Maß erreicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Es gibt zu jeder Imperfektionsart einen eigenen Grenzwert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Imperfektionsgrenzwerte sind Längen- und Breitenangaben in mm.

3.10

Imperfektionszahl

Verhältnis zwischen einem Imperfektionsmaß und seinem Imperfektionsgrenzwert

Anmerkung 1 zum Begriff: Es gibt zu jeder Länge und Breite der Imperfektionsarten eine eigene Imperfektionszahl.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Imperfektionszahl ist eine Zahl (dimensionslos).

3.11

Imperfektionsindex

Kennwert einer Imperfektion

Anmerkung 1 zum Begriff: Es gibt zu jeder Imperfektionsart einen eigenen Imperfektionsindex.

Anmerkung 2 zum Begriff: Je näher der Zahlenwert des Imperfektionsindex bei 1 liegt, desto kleinere bzw. weniger Imperfektionen sind vorhanden.

3.12

Qualitätsindex

Kennwert, der die drei Imperfektionsindizes zusammenfasst

Anmerkung 1 zum Begriff: Je näher der Zahlenwert des Qualitätsindex bei 1 liegt, desto kleinere bzw. weniger Imperfektionen sind vorhanden.

4 Kennwerte, Symbole und Einheiten

In Tabelle 1 sind die Kennwerte, Symbole und Einheiten angeführt, die bei der Beurteilung genutzt werden.

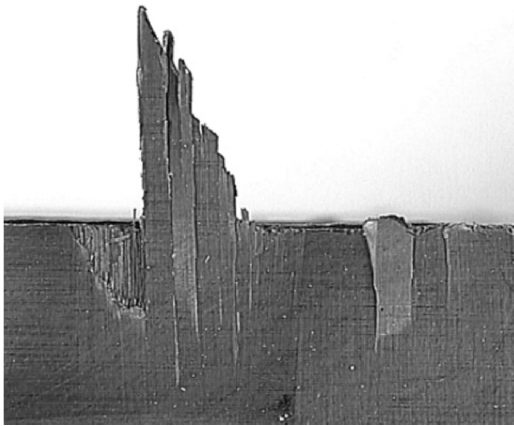
Tabelle 1 — Kennwerte, Symbole und Einheiten des Verfahrens

Kennwertname	Symbol	Einheit
Ausfransungsbreite	$f_{w,\#}$	mm
Ausfransungslänge	$f_{l,\#}$	mm
Delaminationsbreite	$d_{w,\#}$	mm
Delaminationslänge	$d_{l,\#}$	mm
Absplitterungsbreite	$s_{w,\#}$	mm
Absplitterungslänge	$s_{l,\#}$	mm
Toleranzgrenzwert	t	mm
kritische Ausfransungsbreite	$f_{w,crit}$	mm
kritische Ausfransungslänge	$f_{l,crit}$	mm
kritische Delaminationsbreite	$d_{w,crit}$	mm
kritische Delaminationslänge	$d_{l,crit}$	mm
kritische Absplitterungsbreite	$s_{w,crit}$	mm
kritische Absplitterungslänge	$s_{l,crit}$	mm
Ausfransungslängenzahl	$F_{l,\#}$	—
Ausfransungsbreitenzahl	$F_{w,\#}$	—
Delaminationslängenzahl	$D_{l,\#}$	—
Delaminationsbreitenzahl	$D_{w,\#}$	—
Absplitterungslängenzahl	$S_{l,\#}$	—
Absplitterungsbreitenzahl	$S_{w,\#}$	—
Ausfransungsindex (en: fraying index)	$fi_{\#}$	—
Delaminationsindex (en: delamination index)	$di_{\#}$	—
Absplitterungsindex (en: splintering index)	$si_{\#}$	—
Qualitätsindex (en: quality index)	$qi_{\#}$	—

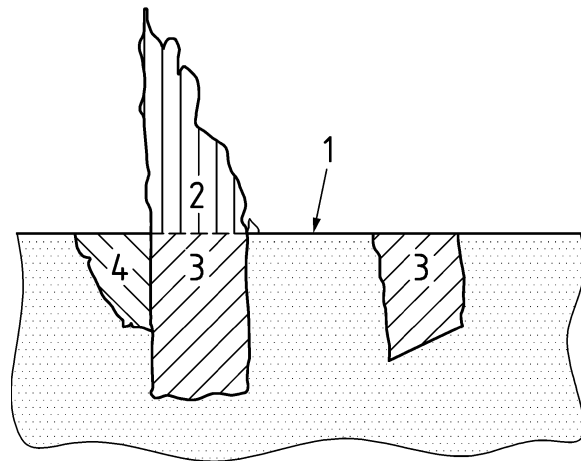
Da an einem Bauteil oder einer Bearbeitungsoperation mehrere Imperfektionen gemessen werden können, müssen die Kennwerte eindeutig zuordenbar sein. Deshalb muss beispielsweise eine fortlaufende Nummer, ein Zeitstempel oder eine Raumkoordinate für # eingesetzt werden.

5 Arten von Imperfektionen

Bei der Bearbeitung von FVK treten vorwiegend die drei Imperfektionsarten Ausfransung, Delamination und Absplitterung auf. In Bild 1 ist das kombinierte Erscheinen der drei Imperfektionsarten dargestellt. Situationsabhängig kann auch vorwiegend eine einzelne Imperfektionsart auftreten. In den Bildern 2 bis 4 ist dies zu sehen.



a) Imperfektion an einer Kohlenstofffaser-Epoxid-Bearbeitungskante



b) schematische Darstellung

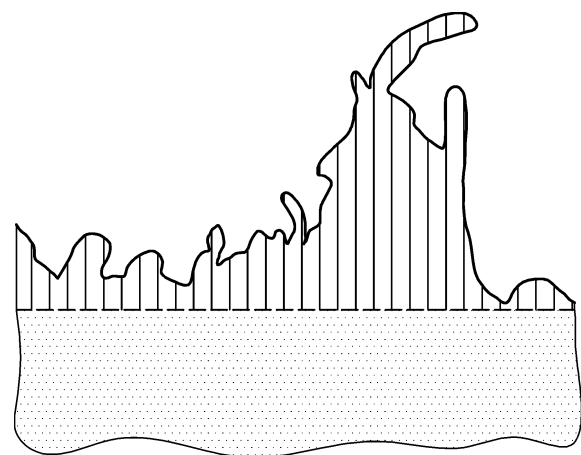
Legende

- 1 Bearbeitungskante
- 2 Ausfransung
- 3 Delamination
- 4 Absplitterung

Bild 1 —Kombiniertes Erscheinen der drei Imperfektionsarten

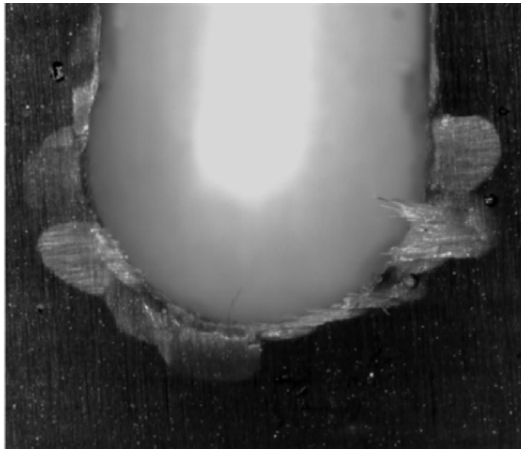


a) Aramidfaser-Epoxid-Bearbeitungskante

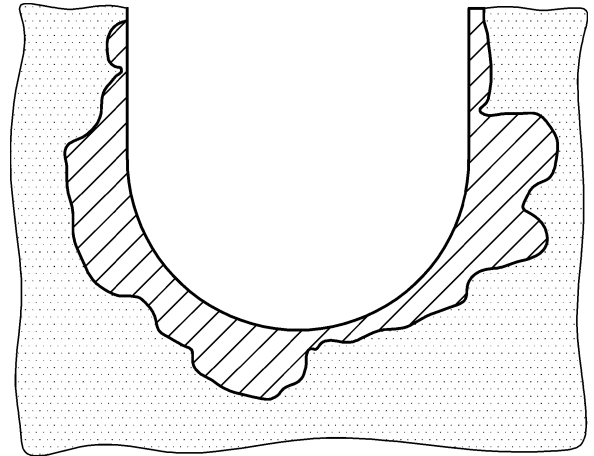


b) schematische Darstellung

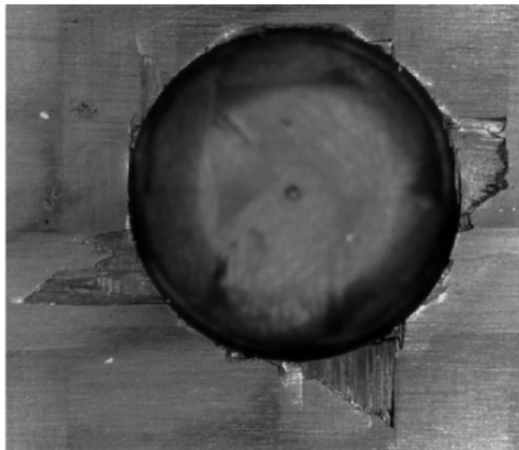
Bild 2 —Ausfransungen



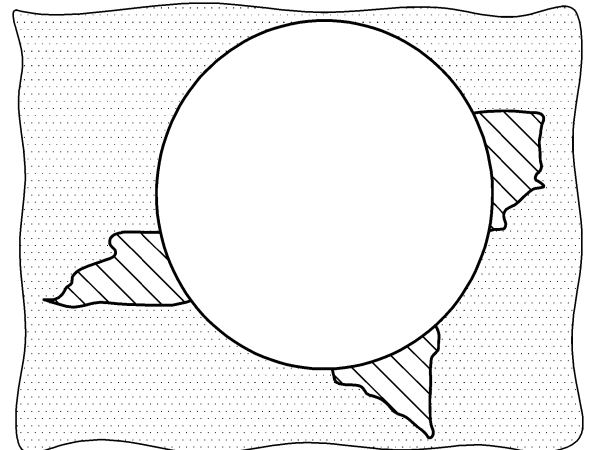
a) Glasfaser-Epoxid-Bearbeitungskante



b) schematische Darstellung

Bild 3 — Delamination

a) Kohlenstofffaser-Epoxid-Bearbeitungskante



b) schematische Darstellung

Bild 4 — Absplitterungen

6 Prüfgeräte

Zur Prüfung eignen sich Messmittel wie beispielsweise Messschieber, optische Kamerasysteme oder Messmikroskope. Die Vergrößerung durch das Prüfgerät sollte das 20-fache betragen und ist im Messprotokoll zu vermerken.

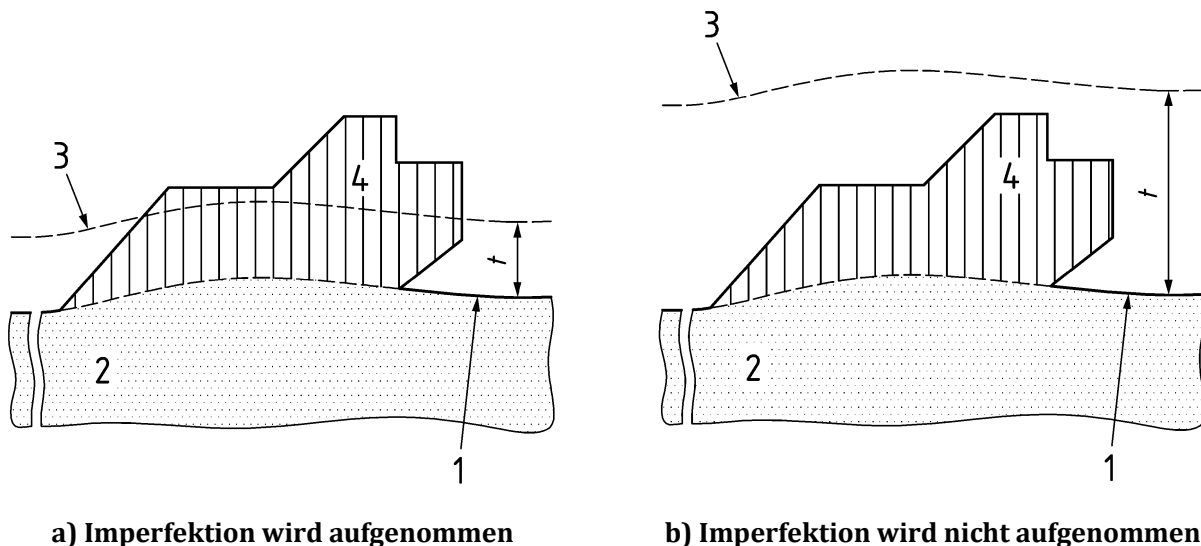
7 Prüfverfahren

7.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt ist festgelegt, wie eine Imperfektion an einer Bearbeitungskante aufzunehmen ist. Die Messdaten können anschließend manuell vom Prüfer in ein Messprotokoll (siehe Anhang A) eingegeben werden. Die folgende Berechnung kann ebenfalls manuell geschehen. Ebenso besteht die Möglichkeit, die Daten in eine vorgefertigte Tabellenkalkulation einzutragen oder in eine entsprechende Software einzugeben, in der die Weiterverarbeitung geschieht. Mit den Eingaben werden die Imperfektionszahlen, die Imperfektionsindizes und der Qualitätsindex berechnet. Die Berechnung dieser Werte ist in Abschnitt 8 erläutert. Das Verfahren eignet sich auch für die automatisierte Nutzung, in der das Messgerät inkl. passender Software alle Aufgaben übernimmt.

7.2 Auftreten einer Imperfektion

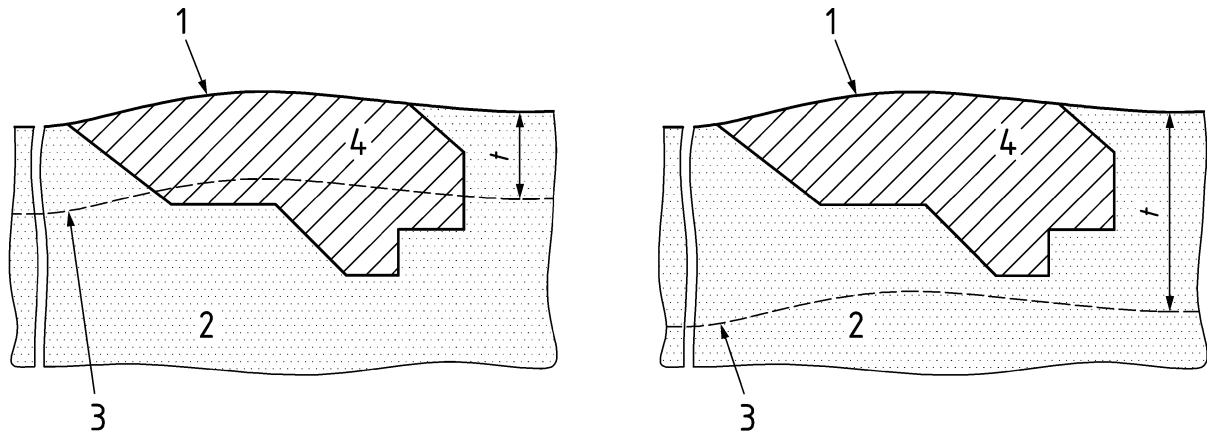
Für die Beurteilung sind nur Imperfektionen relevant, deren Längen größer oder gleich dem zugehörigen Toleranzgrenzwert sind. Liegt die Länge einer Imperfektion unter dem Toleranzgrenzwert, wird diese Imperfektion nicht aufgenommen. Nach dieser Definition zeigen die Beispiele a) in Bild 5 und Bild 6 die aufzunehmende Imperfektion, während die Beispiele b) nicht zur Aufnahme veranlassen.



Legende

- 1 Bearbeitungskante
- 2 Bauteil
- 3 Toleranzgrenze
- 4 Ausfransung
- t Toleranzgrenzwert

Bild 5 — Darstellung der Toleranzgrenze für eine Ausfransung



a) Imperfektion wird aufgenommen

b) Imperfektion wird nicht aufgenommen

Legende

- 1 Bearbeitungskante
- 2 Bauteil
- 3 Toleranzgrenze
- 4 Delamination
- t Toleranzgrenzwert

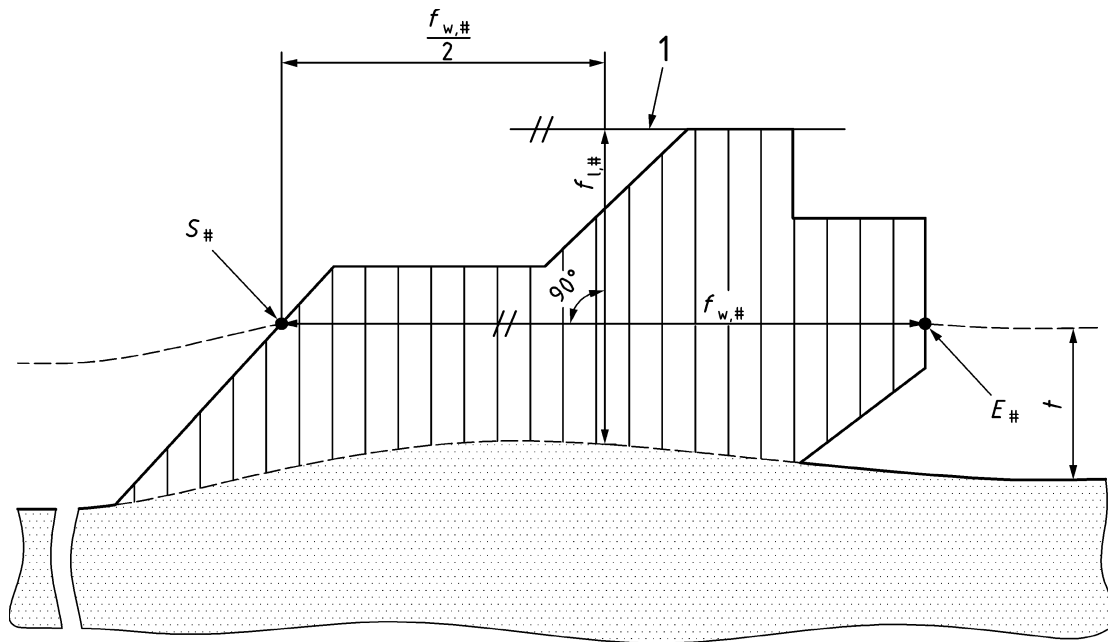
Bild 6 — Darstellung der Toleranzgrenze für eine Delamination (analog für Absplitterungen)

Für die Messung der Imperfektionsbreite wird die fiktive Toleranzgrenze verwendet. Diese Toleranzgrenze verläuft parallel zur Bearbeitungskante. Bei Ausfransungen verläuft sie außerhalb des Bauteils (Bild 5), bei Delaminationen und Absplitterungen innerhalb des Bauteils (Bild 6).

7.3 Messung einer Imperfektion

Die Vermessung der Imperfektion erfolgt für Ausfransungen, Delaminationen und Absplitterungen identisch. Für die Weiterverarbeitung müssen die Imperfektionslänge und -breite wie in Bild 7 und Bild 8 dargestellt, aufgenommen werden. Bei der zugehörigen Vermessung resultieren durch das Einzeichnen der Toleranzgrenze zwei Schnittpunkte. Der Schnittpunkt $S_{\#}$ (Startpunkt) und der Schnittpunkt $E_{\#}$ (Endpunkt) liegen jeweils auf der Toleranzgrenze, genau an der Position, an der die Imperfektion beginnt oder endet.

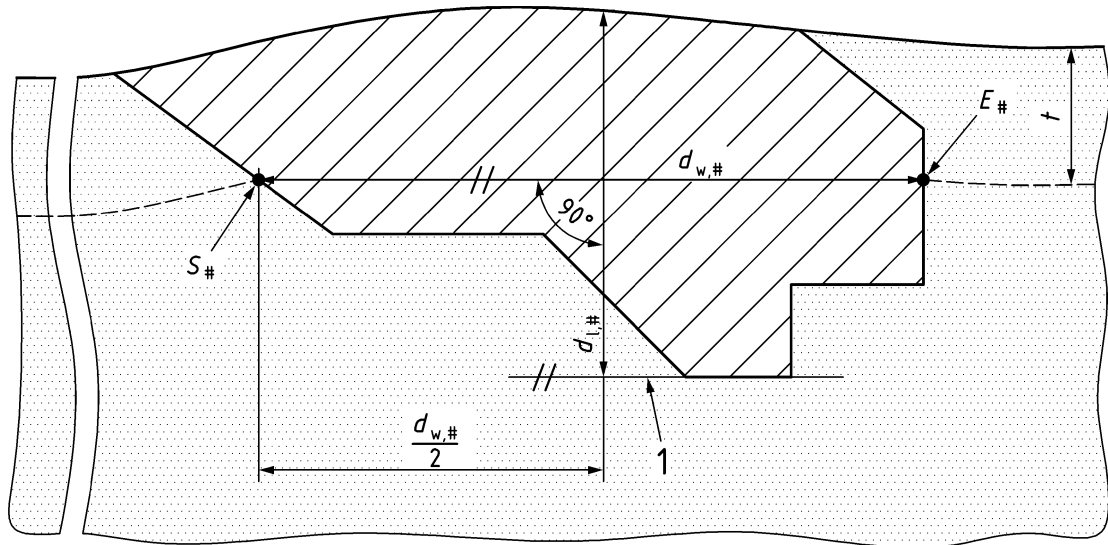
Die Distanz zwischen den Punkten S und E wird als Imperfektionsbreite ($f_{w,\#}$ für Ausfransungen, $d_{w,\#}$ für Delaminationen und $s_{w,\#}$ für Absplitterungen) definiert. Die Imperfektionslänge ($f_{l,\#}$ für Ausfransungen, $d_{l,\#}$ für Delaminationen und $s_{l,\#}$ für Absplitterungen) ist die maximale Ausbreitung der Imperfektion von der Bearbeitungskante weg gemessen. Diese Messung muss senkrecht auf die Imperfektionsbreite und durch deren Mitte geschehen. Die Messung beginnt an der Bearbeitungskante und endet an der Maßhilfslinie, die durch den entferntesten Punkt der Imperfektion läuft. Die Maßhilfslinie muss parallel zur Imperfektionsbreite orientiert sein.



Legende

t	Toleranzgrenzwert
$S_{\#}$	Startpunkt
$E_{\#}$	Endpunkt
$f_{w,\#}$	Ausfransungsbreite
$f_{l,\#}$	Ausfransungslänge
1	Maßhilfslinie

Bild 7 — Messung einer Ausfransung



Legende

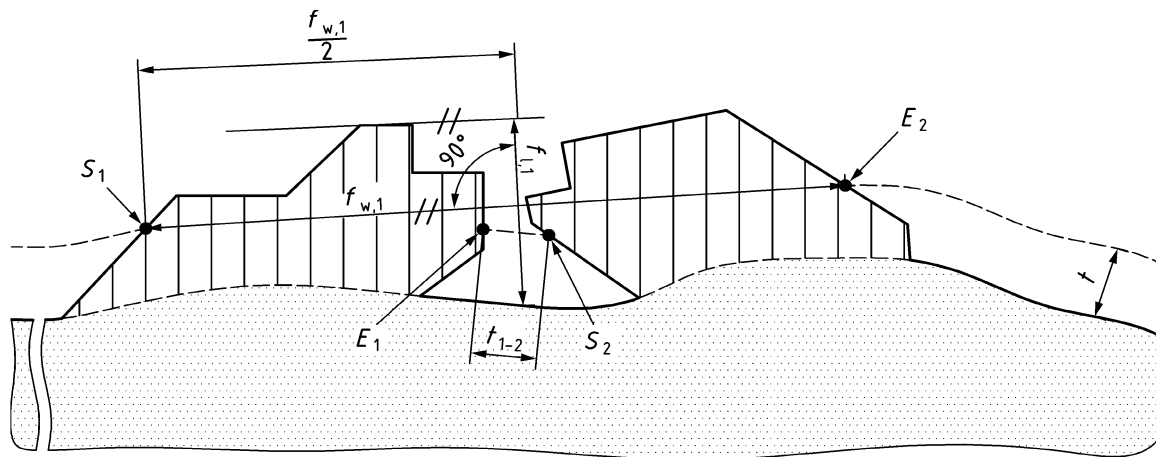
t	Toleranzgrenzwert
$S_{\#}$	Startpunkt
$E_{\#}$	Endpunkt
$d_{w,\#}$	Delaminationsbreite
$d_{l,\#}$	Delaminationslänge
1	Maßhilfslinie

Bild 8 — Messung einer Delamination (analog für Absplitterungen)

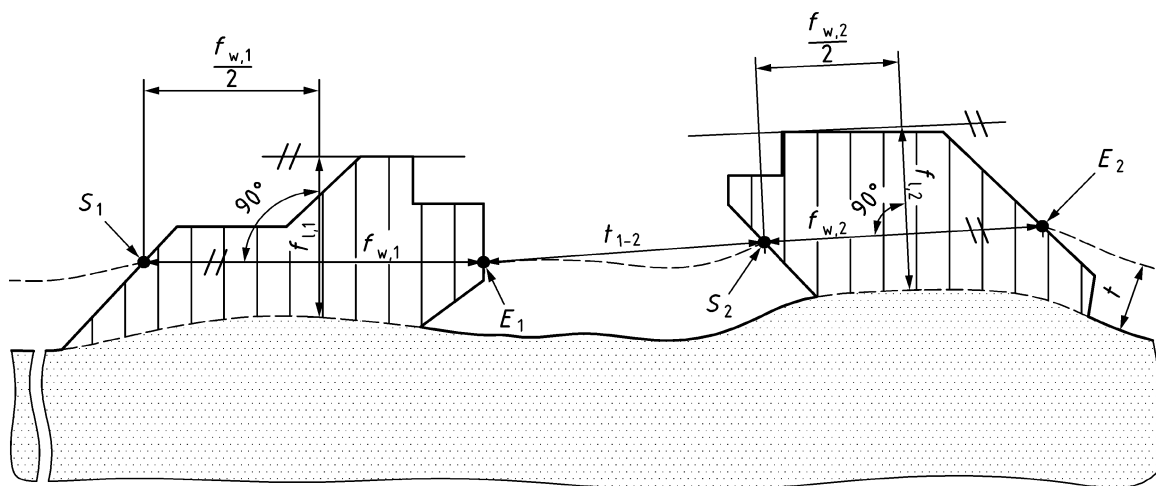
Die gemessenen Werte am Bauteil dienen zur folgenden Berechnung nach Abschnitt 8.

7.4 Aufteilung einer Imperfektion

Die Toleranzgrenze wird auch für die etwaige Aufteilung einer Imperfektion genutzt. Ist eine Ansammlung von einer Imperfektionsart zu bewerten, so kann diese als eine große Imperfektion oder mehrere kleine aufgenommen werden. Der Toleranzgrenzwert und die Distanz zwischen Imperfektionen bestimmen das zugehörige Vorgehen. In Bild 9 und Bild 10 ist dies bildlich erklärt.



a) $t_{1-2} < t$ — die zwei Imperfektionen werden zusammengefasst

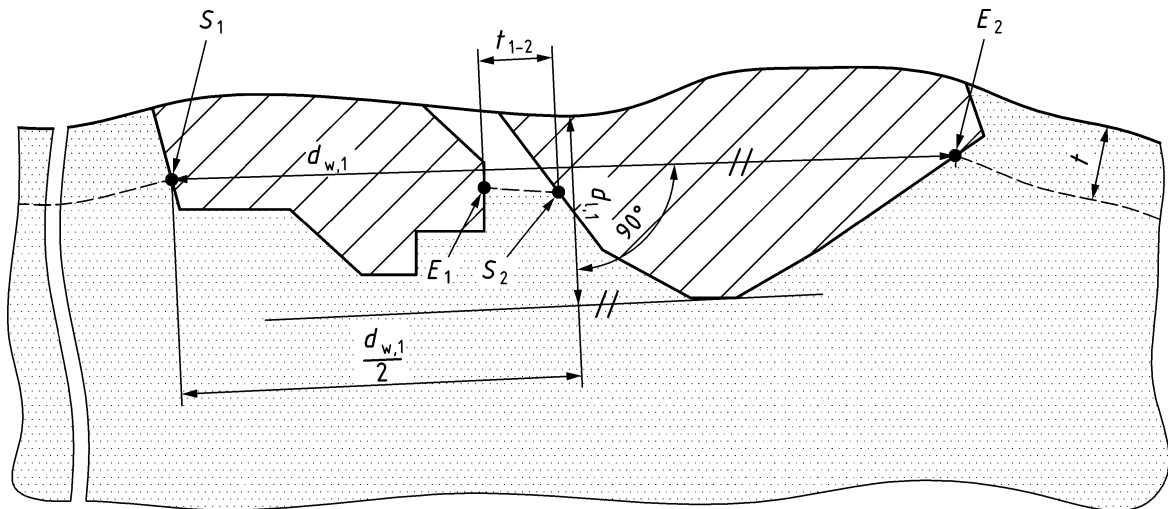


b) $t_{1-2} \geq t$ — die Imperfektionen werden separat behandelt

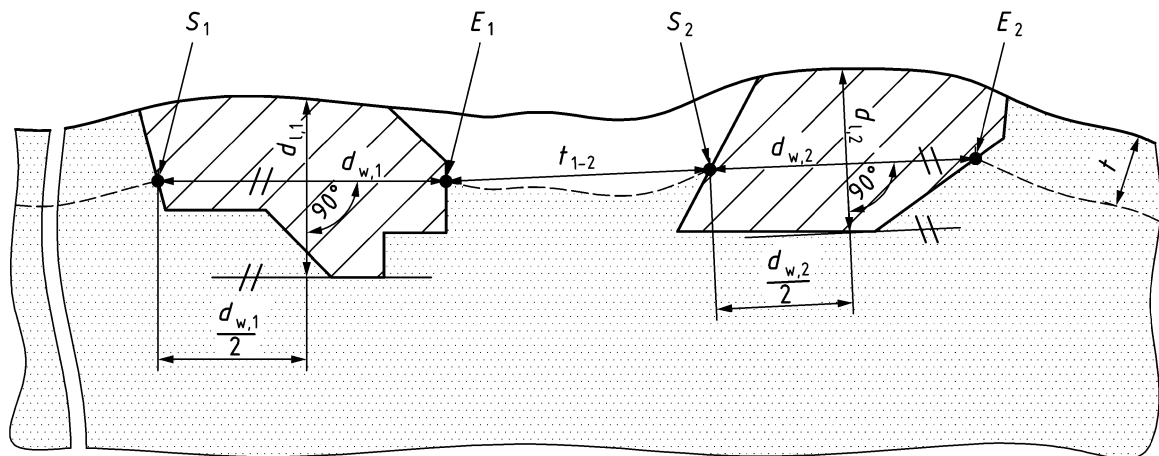
Legende

t	Toleranzgrenzwert
S_1	Startpunkt, Imperfektion 1
E_1	Endpunkt, Imperfektion 1
S_2	Startpunkt, Imperfektion 2
E_2	Endpunkt, Imperfektion 2
t_{1-2}	Distanz zwischen E_1 und S_2
$f_{w,1}$	Ausfransungsbreite, Imperfektion 1
$f_{l,1}$	Ausfransungslänge, Imperfektion 1
$f_{w,2}$	Ausfransungsbreite, Imperfektion 2
$f_{l,2}$	Ausfransungslänge, Imperfektion 2

Bild 9 — Nutzung der Toleranzgrenze zur Abgrenzung von Ausfransungen



a) $t_{1-2} < t$ — die zwei Imperfektionen werden zusammengefasst



b) $t_{1-2} \geq t$ — die Imperfektionen werden separat behandelt

Legende

t	Toleranzgrenzwert
S_1	Startpunkt, Imperfektion 1
E_1	Endpunkt, Imperfektion 1
S_2	Startpunkt, Imperfektion 2
E_2	Endpunkt, Imperfektion 2
t_{1-2}	Distanz zwischen E_1 und S_2
$d_{w,1}$	Delaminationsbreite, Imperfektion 1
$d_{l,1}$	Delaminationslänge, Imperfektion 1
$d_{w,2}$	Delaminationsbreite, Imperfektion 2
$d_{l,2}$	Delaminationslänge, Imperfektion 2

**Bild 10 — Nutzung der Toleranzgrenze zur Abgrenzung von Delaminationen
(analog für Absplitterungen)**

Zuerst werden die Schnittpunkte der Toleranzgrenze mit den Grenzen der Imperfektionen bestimmt. Ist die Distanz zwischen zwei Schnittpunkten größer oder gleich dem Toleranzgrenzwert, handelt es sich um zwei getrennt zu behandelnde Imperfektionen. Andernfalls werden zwei oder mehrere Imperfektionen zusammengefasst.