

## PROBLEMATIK DER RISSDETEKTION BEI DRÄHTEN

# Hundertprozentig – eine Utopie?

Eckehard Müller, Bochum

Für die Detektion, beispielsweise von Rissen bei Drähten, gibt es keine absoluten Grenzen zur Aussortierung oder eine Klassifizierung von Fehlern bzw. Merkmalen. Durch die Erhöhung der Empfindlichkeit und das Ansteigen der „Fehlalarme“ sind die Hersteller an einer technischen Grenze angelangt. Diese kann zurzeit nicht überschritten werden.

In unserem Sprachgebrauch hat das Wort Detektieren seit Langem seinen festen Platz. Doch was ist überhaupt der Vorgang der Detektion? Häufig wird dann auch in diesem Zusammenhang mit Zahlen operiert in Bezug auf Fehlerfreiheit

oder das absolute Aufspüren von Fehlern. Man hört auch öfters von der Garantie der Entdeckung z. B. von Metallen im Mauerwerk oder von Schätzen in Boden. Doch dies ist ein sehr vereinfachtes, pauschalisiertes Bild, das bei Weitem nicht der Rea-

lität entspricht und auch statistisch nicht begründbar ist.

Um sich über den Vorgang der Detektion im Klaren zu sein, sollte der Begriff zunächst genau umrissen werden. Oft treten auch Verwechslungen mit dem Vorgang des Messens auf, der primär nichts mit Detektieren zu tun hat. Betrachtet man den Begriff „detektieren“ von seinem Wortursprung detegere her, so bedeutet er entdecken oder aufspüren [1]. Der Duden definiert Detektion als „das Feststellen, Aufspüren (mit bestimmten wissenschaftlich-technischen Verfahren)“ [2]. Es geht

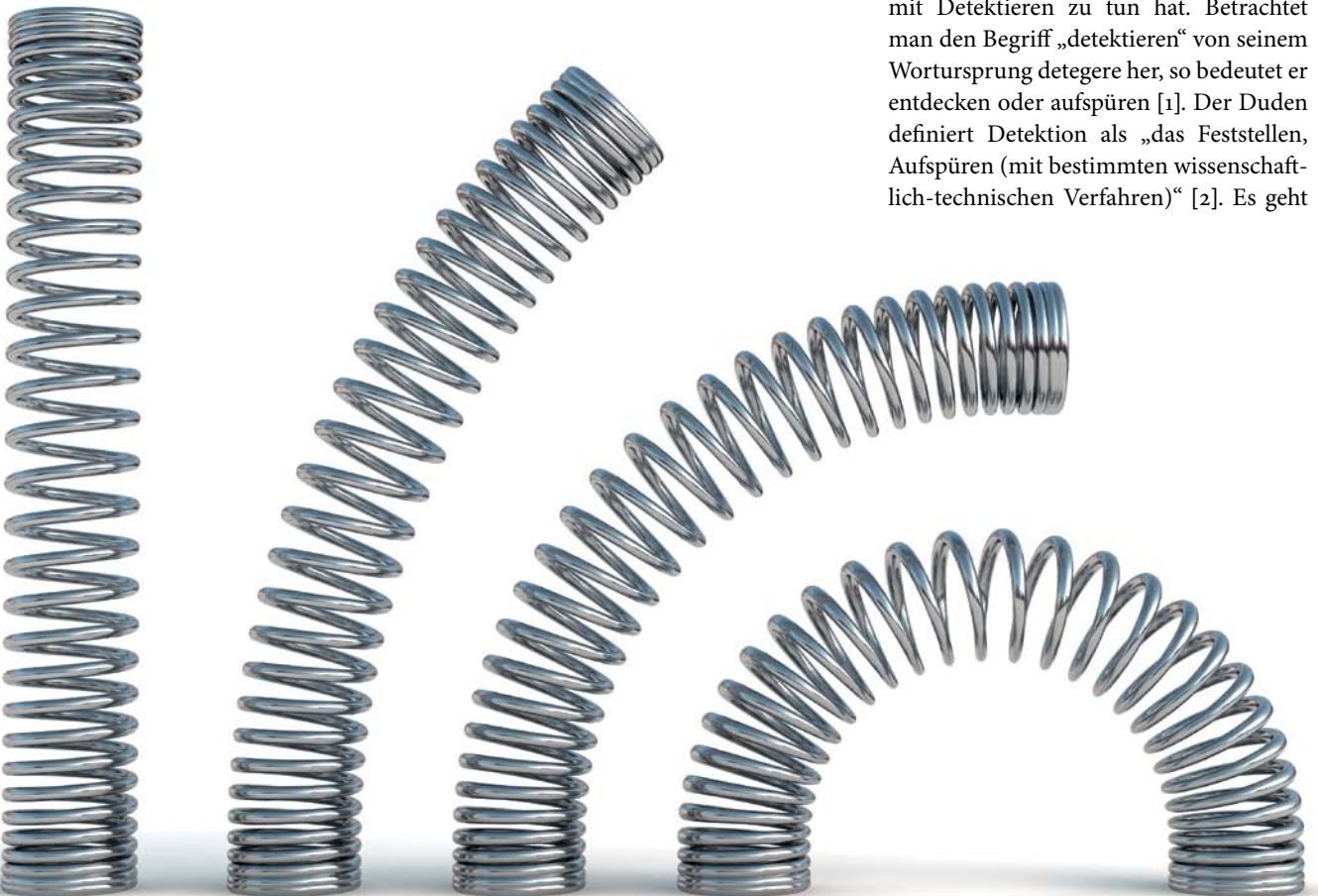


Foto: Fotolia © Iznogood

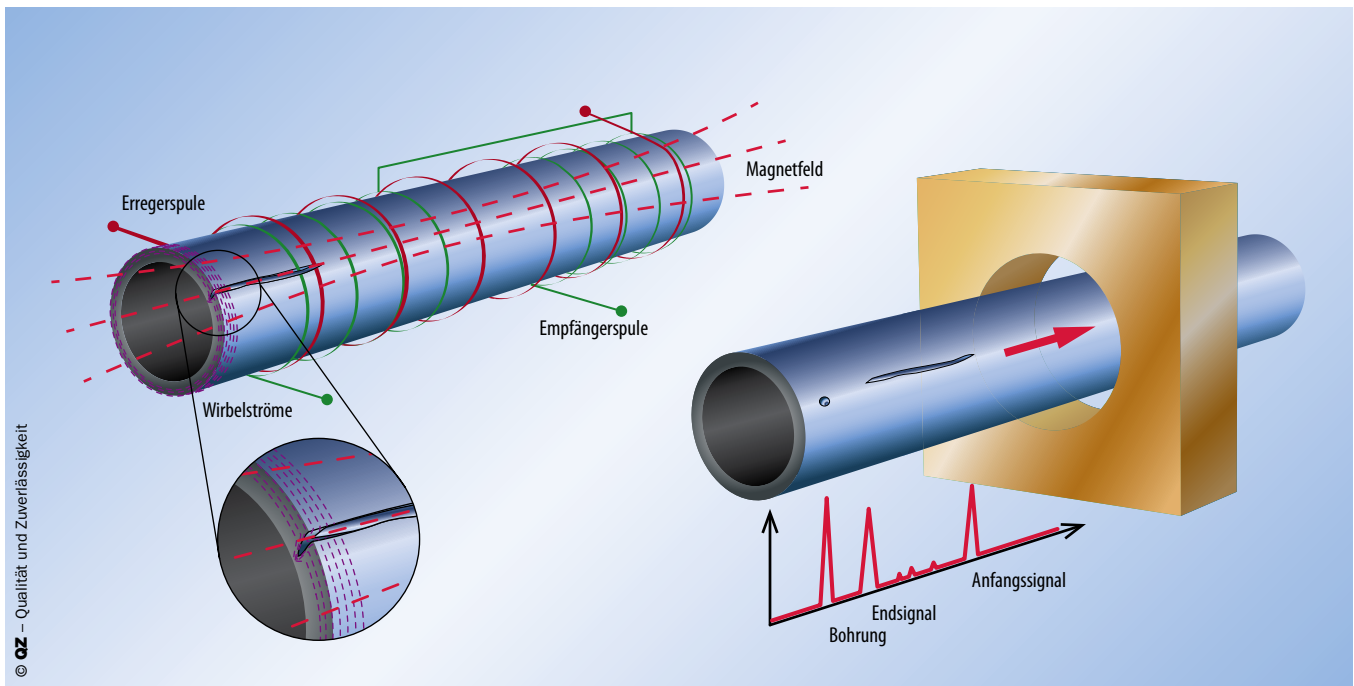


Bild 1. Drahtprüfung beim Durchlauf durch eine stationäre Spule [8]

also bei dem Vorgang der Detektion um das Aufspüren oder Entdecken von Fehlern oder Objekten, meistens mithilfe von technischen Hilfsmitteln und ggf. mit nachgeschalteten Auswertearithmen.

Im Gegensatz dazu ist eine Messung das Ausführen von geplanten Tätigkeiten zum Erreichen einer quantitativen Aussage über eine Messgröße durch Vergleich mit einer Einheit [3]. Der Duden definiert Messen so: „Messen heißt ein Maß haben, welches direkt am Objekt zugrunde gelegt wird“ [4]. Also gibt es beim Detektieren im Gegensatz zum Messen nie eine absolute Zahl mit einer Einheit (z. B. 100 µm, 4 mA oder 512 MPa), sondern nur eine qualitative Aussage, die letztendlich auf die einfache Formel zu bringen ist: Nach dieser (technisch-wissenschaftlichen) Methode zeigt sich ein positives oder negatives Ergebnis. Selbst die absolute Aussage „ist vorhanden“ oder „ist nicht vorhanden“ ist nicht zulässig, wie später noch gezeigt werden wird.

Der Vollständigkeit halber sei noch der Begriff des Prüfens erwähnt: „Prüfen nennt man die Feststellung, ob ein Prüfgegenstand eine oder mehrere vereinbarte oder vorgeschriebene Bedingungen erfüllt“ [5]. Auch diese Aussage wird später noch in den Zusammenhang mit Detektieren gestellt. Eine offizielle Norm zum Detektieren gibt es nicht.

Nahezu alle Mess- oder Detektierprozesse, die mehrmals in gleicher Weise

stattfinden, lassen sich durch statistische Modelle beschreiben. Die hier relevante statistische Verteilung ist die Normalverteilung oder Gauß-Verteilung [6, 7]. Diese Verteilung ist eine der am häufigsten angewendeten Verteilungen. Früher jedem durch den 10-DM-Schein vor Augen, auf welchem sie samt Formel dargestellt war. Diese Verteilung wird bei kontinuierlich verteilten Merkmalswerten benutzt.

### Statistische Grundlagen

Trägt man über einer horizontalen Achse (Abszisse) die Häufigkeitsdichteverteilung eines Merkmals (im Idealfall von unendlicher Anzahl) auf, erhält sie die Form einer sogenannten Gauß'schen Glockenkurve. Das Maximum dieser Dichtefunktion liegt beim Mittelwert  $\langle x \rangle$ . Die Funktion ist symmetrisch bezüglich des Mittelwerts, hat auf jeder Seite einen Wendepunkt und nähert sich der Abszisse asymptotisch. D.h. die Abszisse wird erst im Unendlichen berührt. Die Wendepunkte liegen im Abstand  $s$  vom Mittelwert. Dieser Abstand wird als Standardabweichung bezeichnet. Sie wird auch sehr gerne zur Charakterisierung der Streuung des Merkmals benutzt. Je größer die Standardabweichung ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Wert des Merkmals weiter vom Mittelwert entfernt ist. Normiert man die Fläche unter der Funktion zu eins (100 Prozent Auftretenswah-

scheinlichkeit), so liegen ca. 68 Prozent aller Werte in dem Intervall von einer Standardabweichung links und rechts vom Mittelwert. Erweitert man das Intervall auf das 1,6-Fache der Standardabweichung, so findet man 90 Prozent aller Werte in diesem Intervall. In einem Bereich von zwei Standardabweichungen liegen leicht über 95 Prozent aller Werte.

Die Standardabweichung charakterisiert die Breite der Verteilung. Bei gleichem Mittelwert und der gleichen Anzahl von Werten schrumpft die Höhe des Maximums, und die Glocke verbreitert sich. Die Formel zur Berechnung der Standardabweichung ist

$$s = (\sum (x_i - \langle x \rangle)^2 / (n-1))^{1/2}.$$

Noch ein paar Worte zum Mittelwert  $\langle x \rangle$ . Die genannten Überlegungen gelten für den Fall unendlich vieler Messwerte. Dies ist in der Praxis aber niemals gegeben, deshalb kann der durch die endliche Stichprobe errechnete Mittelwert  $\langle x \rangle$  von dem wahren oder eigentlichen Mittelwert  $\mu$  abweichen. Die Wahrscheinlichkeit der Höhe der Abweichung ist umso kleiner, je mehr Werte man bei der Berechnung einbezogen hat. Der Fehler des Mittelwerts, der auch wieder eine Standardabweichung  $s_\mu$  ist, ist  $s_\mu = s/\sqrt{n}$ , wobei  $n$  die Anzahl der Werte ist, die zur Mittelwertberechnung herangezogen wurden. Es muss also die Anzahl der Werte vervierfacht wer- »

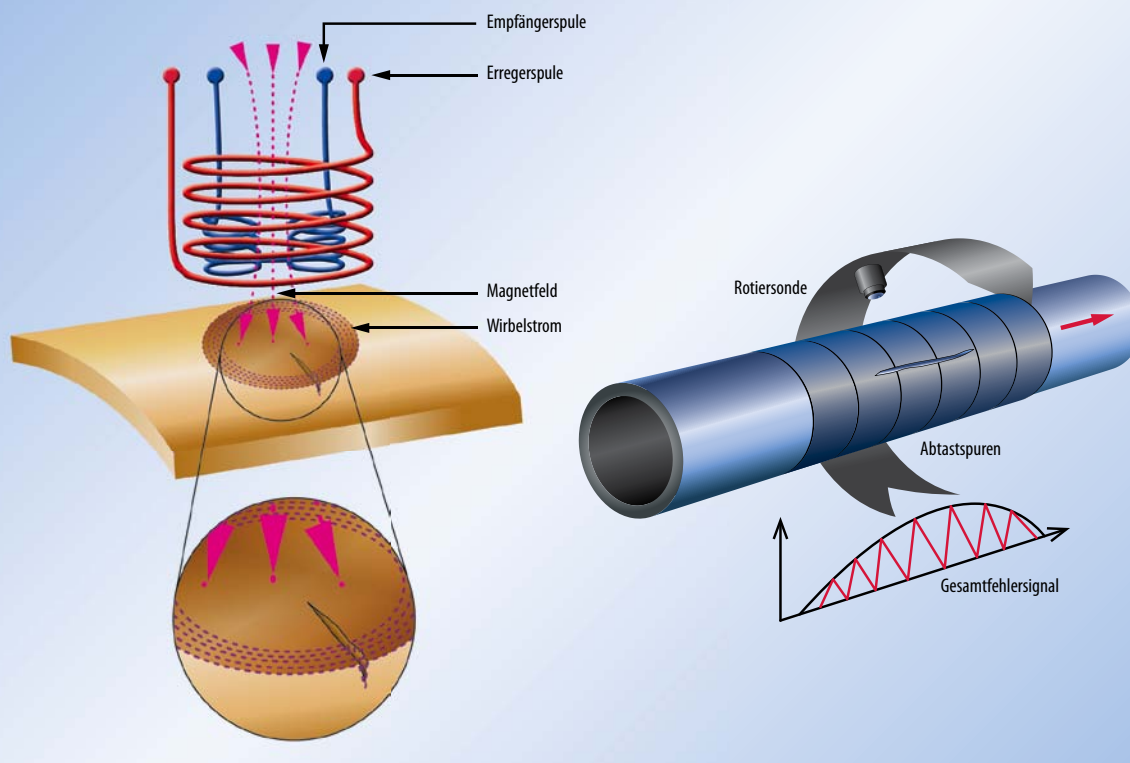


Bild 2. Drahtprüfung durch umlaufende Spulen [8]

© QZ – Qualität und Zuverlässigkeit

den, um hier die doppelte Genauigkeit oder Sicherheit zu haben.

Oft ist bei Detektionsprozessen auch nur ein Schwellenwert wichtig, der als Grenze gilt, oberhalb derer ein positives (oder auch negatives) Feedback gegeben wird. Liegt die Grenze beim Mittelwert, so liegt rechts und links dieser Grenze die gleiche Anzahl von Werten. Verschiebt sich diese aber, so wird nur noch ein „Ausläufer“ der Glockenkurve in Betracht gezogen. Legt man die Schwelle bei 90 Prozent an, so ist der Schwellenwert das 1,3-Fache der Standardabweichung vom Mittelwert entfernt. Liegt der Schwellenwert 2 Standardabweichungen weg, so ergibt sich eine fast 98-prozentige „Mitnahme“.

**Detektion und Statistik**

Soll ein Merkmal detektiert werden, wird nach der Aufnahme eines Signals und dem Durchlaufen eines Auswertalgorithmus eine Entscheidung herbeigeführt, die aussagt, dass das Merkmal über einem Schwellenwert oder gegebenenfalls noch unter einem zweiten Schwellenwert (also in einem Intervall) liegt. Dabei kann es passieren, dass das Merkmal als nicht vorhanden oder nicht im Intervall liegend gewertet wird, obwohl es eigentlich dort ein-

klassifiziert werden müsste. Da aber nicht nur die Detektion einer Gauß-Verteilung unterliegt, sondern auch die Wahrscheinlichkeit eines Fehlalarms oder einer Fehlklassifizierung, die mit der anderen verschränkt ist, wird die Anzahl der falschen Einsortierungen des Signals steigen. Diese Tatsache verdankt man der Gauß-Verteilung. Da diese sich bis ins Unendliche erstreckt, wird man durch das Setzen eines Schwellenwerts die Fläche unter der Gauß-Kurve in zwei Teile spalten, auch wenn der eine Teil noch so klein ist. Die Anzahl der Fehlalarme steigt, da die Grenze in Richtung Mitte der anderen Gauß-Verteilung verschoben wird.

**Rissdetektion bei Drähten**

Im Folgenden wird am Beispiel der Rissdetektion erläutert, zu welchen Schwierigkeiten dies führt. Dabei spielt noch eine große Rolle, dass es keine „natürlichen“ Referenzproben gibt. Risse treten als „produktionsbedingtes“ und nicht hundertprozentig auszumerzendes Übel bei der Drahtherstellung und -verarbeitung auf. Natürlich unternimmt man große Anstrengungen, um Risse zu vermeiden. So muss als weitere Maßnahme versucht werden, Risse entlang der Prozesskette zu detektieren. Die heute vorherrschende Me-

thode ist die Detektion mittels Wirbelstromverfahrens, da dies während des Herstellungsprozesses geschehen kann. Zwei Methoden haben sich bewährt:

- Der Draht wird durch eine Spule geschickt (Bild 1). Liegt ein Riss vor, ändert sich der magnetische Fluss und somit das Magnetfeld, welches ausgewertet wird. Liegt der Riss entlang der Feldlinien (längs zur Drahtachse), ist er faktisch nicht detektierbar, da sich das Magnetfeld nicht ändert. Dieses Verfahren eignet sich eher für quer zur Drahtachse liegende Fehler.
- Eine um den Draht rotierende Spule erzeugt ein Magnetfeld, und eine zweite Spule, die in der ersten liegt, detektiert die Änderung des Felds aufgrund eines Risses (Bild 2). Dieses Verfahren eignet sich auch zum Aufspüren von Längsrissen.

Bei beiden Verfahren spielt auch die Form des Risses bzw. Fehlers eine Rolle. Ist der Fehler nicht rissartig, sondern schalenartig, ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit höher. Durch geeignete Software wird das Magnetfeldsignal ausgewertet (Bild 3). Liegt kein Fehler vor, so hat man ein Grundrauschen, das wegen anderer Faktoren zudem schwankt. Tritt ein Fehler im Draht auf, so ergibt sich eine Abweichung vom Rauschpegel. Diese wird dann ent-

© 2013 Carl Hanser Verlag, München www.qz-online.de Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern

sprechend ausgewertet. Im ersten Schritt basiert die Auswertung auf künstlich eingebrachten Fehlern. Die „natürlichen“ Fehler können ein anderes Signal erzeugen. Diese kann man nur zerstörend richtig charakterisieren, sodass im Nachhinein keine Verifikation der Auswertungsoptimierung mehr an diesem Fehler feststellbar ist.

Je kleiner die Fehler sind, desto schwieriger stellt sich die Situation dar. Irgendwann ist eine Grenze erreicht, die unter technischen wie auch wirtschaftlichen Gesichtspunkten keine weitere Optimierung mehr erlaubt, zumal man dann zusätzlich zwischen verschiedenen Fehlerformen differenzieren muss.

Da dieses Verfahren ein Detektionsverfahren ist, werden, wie man leicht erkennt, nicht alle Fehler aufgespürt. Ein Testfehler mit einer Größe von 100 µm wird mit einer Signalstärke von 50 Prozent im Vergleich zum Signal eines 400-µm-Risses detektiert. Ist der Fehler 200 µm groß, so steigt die Signalstärke auf über 80 Prozent. Je kleiner also der Fehler ist, desto schlechter wird das Signal-Rausch-

Verhältnis, und die Wahrscheinlichkeit, den Riss nicht zu entdecken, steigt stark an, da das Rauschen das „Nutzsinal“ verfälscht und im Extremfall überdeckt.

### Problematik der Rissdetektion

Neben der Änderung des Magnetfelds durch Risse gibt es etliche weitere Einflussfaktoren, die sekundär das Magnetfeld beeinflussen. Die Stärke des Magnetfelds wird beispielsweise geändert durch Änderungen in der Drahtstärke oder durch eine andere Gefügestruktur. Diese Schwankungen unterliegen ebenfalls einer Gauß-Verteilung. Je nach Einstellung der Empfindlichkeit (Detektionsgrenze) rutscht diese Grenze massiv in den Hauptbereich der zweiten Gauß-Kurve (Fehlalarme).

Als Konsequenz wird „gutes“ Drahtmaterial aussortiert. Dieses quantitativ zu verifizieren, ist fast ausgeschlossen. Dazu muss das gesamte aussortierte Drahtmaterial Mikrometer für Mikrometer auf Fehler und deren Art untersucht werden, um zu entscheiden, ob es sich um einen ge-

rechtfertigten „Alarm“ handelt oder nicht. Daher ist die Lage und Form der Gauß-Kurve, die auf anderen Magnetfeldflussfaktoren basiert, nicht bekannt.

Der bisher idealisiert dargestellte Fall hat weitere erschwerende Aspekte, die hier nur angedeutet werden. So sind bei der Rissdetektion die angesprochenen Gauß-Verteilungen nicht symmetrisch bezüglich des Mittelwerts. Des Weiteren hängt die Detektionswahrscheinlichkeit auch von der Geschwindigkeit des Drahts und vom Verhältnis des Spulendurchmessers zum Drahtdurchmesser ab.

### Konsequenzen für die Normung

Es gibt viele Liefervorschriften, Richtlinien und Normen in der Industrie, die feste Grenzen vorschreiben bzw. hundertprozentige Rissfreiheit über einer festgelegten Grenze fordern. Dies widerspricht den statistischen Erkenntnissen, die nun mal bei Detektionsprozessen gegeben sind und nicht wegdiskutiert werden können. Selbst der Begriff des Prüfens ist mit Vorsicht zu gebrauchen, da durch De- »



**Literatur**

- 1 Urban, Albert J.: Latein-Wörterbuch. area-verlag, Erfstadt 2006
- 2 www.duden.de, Zugriff Okt. 2012
- 3 DIN 1319: Grundbegriffe der Messtechnik, Teil 1. Deutsches Institut für Normung / Beuth Verlag, Berlin 1995
- 4 www.duden.de, Zugriff: Okt. 2012
- 5 Petsch, B.: Messen, Kalibrieren, Prüfen. Books on Demand GmbH, Nordstedt, erschienen in Zürich 2009, S. 39
- 6 Dietrich, E.; Schulze, A.: Statistische Verfahren zur Qualifikation von Meßmitteln, Maschinen und Prozessen. Carl Hanser Verlag, München 1998, S. 45 ff.
- 7 Petsch, B.: Messen, Kalibrieren, Prüfen. Books on Demand GmbH, Nordstedt, erschienen in Zürich 2009, S. 101 ff.
- 8 Vortrag Institut Dr. Förster GmbH & Co. KG, Reutlingen, im Februar 2012 beim Verband der deutschen Federnindustrie
- 9 Janßen, P. et al.: Oil Tempered Wire for high demanding applications – Necessity of defect management in the supply chain. Vortrag auf der Int. Conference on Steels in Cars and Trucks 2011
- 10 Engineer S. J.; Wieland H.-J.: Null-Fehler- und ppm-Strategie für Halbzeug, Stab und Draht aus Sicht des Stahlherstellers. Stahl und Eisen 119 (1999) 11, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, S. 85 ff.
- 11 Engineer S. J.; Wieland H.-J.: Null-Fehler-Philosophie. Stahl und Eisen 117 (1997) 3, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, S. 79 ff.

**Autor**

Prof. Dr. rer. nat. Eckehard Müller, geb. 1957, arbeitet am Institut für Werkstoff- und Fügetechnik sowie angewandte Physik an der Hochschule Bochum und am Steinbeis-Transferzentrum für Federntechnologie, Bauteilverhalten und Prozess.

**Kontakt**

Prof. Dr. rer. nat. Eckehard Müller  
eckehard.mueller@hs-bochum.de

**Mehr zum Thema**

Statistische Grundlagen finden Sie online:  
[www.qz-online.de/492828](http://www.qz-online.de/492828)

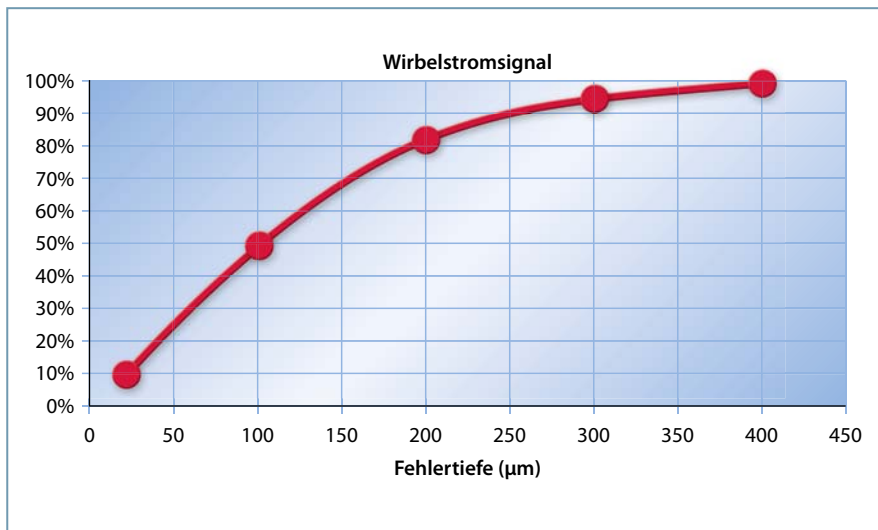


Bild 3. Signalstärke in Abhängigkeit von der Fehlertiefe (in Anlehnung an [8])

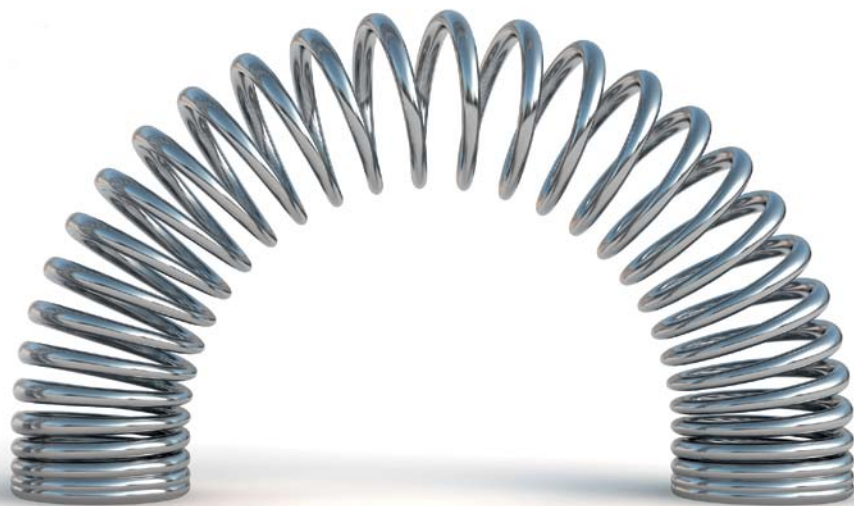
tektieren eben nicht mit absoluter Sicherheit festgestellt werden kann, ob ein Fehler vorhanden ist [9]. Im Qualitätsmanagement haben sich  $C_{pk}$ -Werte fest etabliert, die gerade statistischen Verteilungen und dem Begriff des Prüfens Rechnung tragen.

Erschwerend kommt hinzu, dass es bei dem gesamten Herstellungsprozess – von der Stahlerzeugung bis zur Drahtauslieferung – sogenannte Restfehler gibt [10], die auch durch noch so großen Prüfaufwand nicht erkennbar sind. Hat der Stab zudem eine verzünderte Oberfläche, weil er z. B. nicht geschält wurde, gestaltet sich die Entdeckung aufgrund der höheren Unebenheit der Oberfläche als noch schwieriger. Eine gute Übersicht über die Prüfmöglichkeiten bei Halbzeug, Stabstahl, Draht und Band ist in [11] gegeben. Dieser Widerspruch in etlichen Normen bzw. Liefervorschriften, die zirkulie-

ren, muss aufgelöst werden. Bei Detektionsvorgängen gibt es keine absoluten Grenzen zur Aussortierung bzw. Klassifizierung von Fehlern bzw. Merkmalen.

Am Beispiel der Rissdetektion wurde aufgezeigt, dass hier noch das zusätzliche Problem der Unbekanntheit der Breite der Gauß-Verteilung der anderen Einflüsse vorhanden ist, die „Fehlalarme“ auslösen. Durch diese Ambivalenz zwischen Erhöhung der Empfindlichkeit und Ansteigen der „Fehlalarme“ ist man an einer technischen Grenze angelangt, die zurzeit nicht überschritten werden kann.

Wirtschaftlich gesehen wird immer ein – wenn auch sehr kleines – Restrisiko bleiben, bei Produkten, die aus Draht hergestellt und dazu noch dynamisch belastet werden, einen Bruch und gegebenenfalls einen Garantiefall zu haben. Als klassisches Beispiel ist hier eine Feder oder ein Stabilisator im Auto zu nennen. □



© QZ – Qualität und Zuverlässigkeit

© 2013 Carl Hanser Verlag, München www.qz-online.de Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern