

DIN EN 61280-2-8



ICS 33.180.01

**Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme –
Digitale Systeme –****Teil 2-8: Bestimmung von geringen Bitfehlerverhältnissen (BERs) mit
Hilfe von Q-Faktormessungen (IEC 61280-2-8:2003);
Deutsche Fassung EN 61280-2-8:2003**

Fibre optic communication subsystem test procedures –

Digital systems –

Part 2-8: Determination of low BER using Q-factor measurements (IEC 61280-2-8:2003);

German version EN 61280-2-8:2003

Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunications à fibres optiques –

Systèmes numériques –

Partie 2-8: Détermination du faible Taux d'Erreur Binaire (TEB) en utilisant les mesures du
facteur Q (CEI 61280-2-8:2003);

Version allemande EN 61280-2-8:2003

Gesamtumfang 32 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2003-03-01 angenommene EN 61280-2-8 gilt als DIN-Norm ab 2004-09-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 86C/206/CD:1998-10.

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.2 „Komponenten für Kommunikationskabelanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Die enthaltene IEC Publikation wurde vom SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2010 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Prüfverfahren für Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme
Digitale Systeme
Teil 2-8: Bestimmung von geringen Bitfehlerverhältnissen (BERs)
mit Hilfe von Q-Faktormessungen
(IEC 61280-2-8:2003)

Fibre optic communication subsystem test
procedures
Digital systems
Part 2-8: Determination of low BER using
Q-factor measurements
(IEC 61280-2-8:2003)

Procédures d'essai des sous-systèmes de
télécommunications à fibres optiques
Systèmes numériques
Partie 2-8: Détermination du faible Taux
d'Erreur Binaire (TEB) en utilisant les mesures
du facteur Q
(CEI 61280-2-8:2003)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2003-03-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 86C/485/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61280-2-8, ausgearbeitet von dem SC 86C „Fibre optic systems and active devices“ des IEC TC 86 „Fibre optics“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2003-03-01 als EN 61280-2-8 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2003-12-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2006-03-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm ist Anhang A normativ und ist Anhang B informativ.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61280-2-8:2003 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Begriffe und Abkürzungen	5
2.1 Begriffe	5
2.2 Abkürzungen.....	5
3 Messung geringer Bitfehlerquoten.....	5
3.1 Allgemeine Betrachtungen	5
3.2 Hintergründe zum Gütefaktor	7
4 Verfahren mit variabler Entscheidungsschwelle.....	9
4.1 Überblick.....	9
4.2 Prüfeinrichtung.....	12
4.3 Probenahme und Prüflinge.....	12
4.4 Durchführung	12
4.5 Berechnungen und Auswertung der Ergebnisse	13
4.6 Prüfbericht	17
4.7 Angaben in der Spezifikation	17
5 Verfahren mit variabler optischer Schwelle	17
5.1 Überblick.....	17
5.2 Prüfeinrichtung.....	18
5.3 Prüflinge.....	18
5.4 Verfahren für optische Grundverbindungen	18
5.5 Verfahren für eingebaute Systeme.....	19
5.6 Auswertung der Ergebnisse	20
Anhang A (normativ) Berechnung der Fehlergrenze für den Wert des Gütefaktors	22
Anhang B (informativ) Sinus-Interferenzverfahren	24
Literaturhinweise.....	30
 Bild 1 – Beispiel für ein Augendiagramm mit Bitmustereffekten.....	 8
Bild 2 – Genauere Messtechnik mit einem DSO, der die Rauschstatistik zwischen den Augenmitten erfasst	8
Bild 3 – Bitfehlerquote als Funktion des Pegels der Entscheidungsschwelle	10
Bild 4 – Grafische Darstellung des Gütefaktors als Funktion der Schwellenspannung	10
Bild 5 – Prüfaufbau für das Verfahren mit variabler Entscheidungsschwelle	12
Bild 6 – Einstellung des Pegels der Anfangsschwelle (etwa in Augenmitte).....	12
Bild 7 – Effekt von Hintergrundlicht.....	18
Bild 8 – Prüfaufbau für die Prüfung einer optischen Verbindung oder eines Bauelements	19
Bild 9 – Prüfaufbau für die Systemprüfung	19
Bild 10 – Extrapolation des log BER als Funktion der Voreinstellung	21

	Seite
Bild B.1 – Prüfaufbau für das Sinus-Interferenzverfahren mit optischer Einspeisung	25
Bild B.2 – Prüfaufbau für das Sinus-Interferenzverfahren mit elektrischer Einspeisung	27
Bild B.3 – BER-Ergebnis aus den Sinus-Interferenzverfahren (Datenpunkte und extrapolierte Gerade).....	28
Bild B.4 – BER als Funktion der optischen Leistung nach drei verschiedenen Verfahren	28
 Tabelle 1 – Mittlere Zeit zur Erfassung von 15 Fehlern in Abhängigkeit von BER und Bitrate	 6
Tabelle 2 – BER als Funktion der Schwellenspannung	14
Tabelle 3 – f_i als Funktion von D_i	15
Tabelle 4 – Werte der Konstanten der linearen Regression	16
Tabelle 5 – Mittelwert und Standardabweichung	16
Tabelle 6 – Beispiel für eine Prüfung mit optischer Voreinstellung.....	20
Tabelle B.1 – Ergebnisse für die Sinus-Einspeisung	26

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil der IEC 61280 legt zwei Hauptverfahren zur Ermittlung von geringen Bitfehlerquoten durch beschleunigte Messungen fest. Dabei handelt es sich um das Verfahren mit variabler Entscheidungsschwelle (Hauptabschnitt 4) und das Verfahren mit variabler optischer Schwelle (Hauptabschnitt 5). Darüber hinaus wird im Anhang B ein drittes Verfahren, das Sinus-Interferenzverfahren, beschrieben.

2 Begriffe und Abkürzungen

2.1 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten folgende Begriffe und Definitionen.

2.1.1

verstärkte spontane Emission

ASE

in optischen Verstärkern erzeugter Güteabfall

2.1.2

Bitfehlerquote

BER

Anzahl der fehlerhaften Bits im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Bits

2.1.3

Intersymbolinterferenz

ISI

gegenseitige Störung von Symbolen in einem Datenstrom, die gewöhnlich durch Nichtlinearitäten und Begrenzungen der Bandbreite des Übertragungswegs verursacht wird

2.1.4

Gütefaktor

Q

Verhältnis der Differenz zwischen den mittleren Spannungen des 1- und 0-Werts und der Summe von deren Standardabweichungen

2.2 Abkürzungen

cw Dauerstrich (bezieht sich gewöhnlich auf eine Sinuswelle)
(en: continuous wave)

DC Gleichstrom
(en: direct current)

DSO digitales Abtastoszilloskop
(en: digital sampling oscilloscope)

DUT Prüfling
(en: device under test)

PRBS pseudostatistische Bitfolge
(en: pseudo-random binary sequence)

3 Messung geringer Bitfehlerquoten

3.1 Allgemeine Betrachtungen

LWL-Kommunikationssysteme und -untersysteme können auch bei sehr hohen Bitraten von Natur aus ein außergewöhnlich gutes Fehlverhalten aufweisen. Die mittlere Bitfehlerquote (BER) liegt abhängig von der Art des Systems gewöhnlich im Bereich von 10^{-12} bis 10^{-20} . Obwohl dieses Leistungsmerkmal weit über die

praktischen Anforderungen für digitale Signale hinausgeht, ergibt sich ein Vorteil für das Verknüpfen vieler Verbindungen über lange Strecken, ohne dass Fehlerkorrekturverfahren erforderlich werden.

Die Messung dieser geringen Fehlerquoten stellt ein besonderes Problem hinsichtlich der zur Messung einer ausreichend großen Anzahl von Fehlern erforderlichen Dauer dar, damit ein statistisch signifikantes Ergebnis erreicht wird. In Tabelle 1 sind die erforderlichen mittleren Zeiten zur Erfassung von 15 Fehlern angegeben. Diese Fehleranzahl kann als statistisch signifikant angesehen werden und bietet eine statistische Sicherheit von 75 % mit einer Streuung von 50 %.

Tabelle 1 – Mittlere Zeit zur Erfassung von 15 Fehlern in Abhängigkeit von BER und Bitrate

BER Bit/s	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}	10^{-15}
1,0M	1,5 s	15 s	2,5 min	25 min	4,2 h	1,7 d	17 d	170 d	4,7 Jahre	47 Jahre
2,0M	750 ms	7,5 s	75 s	750 s	2,1 h	21 h	8,8 d	88 d	2,4 Jahre	24 Jahre
10M	150 ms	1,5 s	15 s	2,5 min	25 min	4,2 h	1,7 d	17 d	170 d	4,7 Jahre
50M	30 ms	300 ms	3,0 s	30 s	5,0 min	50 min	8,3 h	3,5 d	35 d	350 d
100M	15 ms	150 ms	1,5 s	15 s	2,5 min	25 min	4,2 h	1,7 d	17 d	170 d
500M	3 ms	30 ms	300 ms	3,0 s	30 s	5,0 min	50 min	8,3 h	3,5 d	35 d
1,0G	1,5 ms	15 ms	150 ms	1,5 s	15 s	2,5 min	25 min	4,2 h	1,7 d	17 d
10G	150 μ s	1,5 ms	15 ms	150 ms	1,5 s	15 s	2,5 min	25 min	4,2 h	1,7 d
40G	38 μ s	380 μ s	3,8 ms	38 ms	380 ms	3,8 s	38 s	6,3 min	63 min	10,4 h
100G	15 μ s	150 μ s	1,5 ms	15 ms	150 ms	1,5 s	15 s	2,5 min	25 min	4,2 h

Die in Tabelle 1 angegebenen Zeiten zeigen, dass die direkte Messung der geringen von LWL-Systemen zu erwartenden BER-Werte bei der Einrichtung und Wartung nicht durchführbar ist. Diese Schwierigkeit kann überwunden werden, indem der Signal-Rausch-Abstand am Empfänger kontrolliert künstlich verschlechtert wird und damit die BER wesentlich erhöht und die Messzeit verringert wird. Das Fehlerverhalten wird bei unterschiedlichen Pegeln der Verschlechterung gemessen, und die Ergebnisse werden anschließend durch Berechnungen oder grafische Verfahren nach theoretischen oder empirischen Regressionsalgorithmen auf den Nullwert der Verschlechterung extrapoliert.

Die Schwierigkeit, die sich bei Anwendung von Regressionstechniken zur Ermittlung des Fehlerverhaltens ergibt, besteht darin, dass der theoretische BER-Wert auf den Pegel der Verschlechterung über die inverse Fehlerfunktion (*erfc*) bezogen wird. Das heißt, dass sehr kleine Änderungen der Verschlechterung zu sehr großen BER-Änderungen führen; z. B. führt im Bereich eines BER-Werts von 10^{-15} eine Änderung des Pegels der Verschlechterung von etwa 1 dB zu einer Änderung von drei Größenordnungen bei der BER. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass bei einem auf Extrapolation beruhenden Verfahren eine Absenkung der BER von nur drei Größenordnungen unterhalb des niedrigsten Messwerts möglicherweise nicht erkannt wird.

Es sollte weiterhin beachtet werden, dass bei digital regenerierten Abschnitten die erhaltenen Ergebnisse nur für den regenerierten Abschnitt gelten, deren Empfänger geprüft wird. Fehler, die vor dem regenerierten Abschnitt erzeugt werden, können eine Fehlerplattform bilden, die bei der Bewertung des Fehlerverhaltens des zu prüfenden Regeneratorabschnitts zu berücksichtigen sind.

Wie oben angegeben werden zwei Hauptverfahren zur Ermittlung von geringen BER-Werten durch beschleunigte Messungen beschrieben. Dabei handelt es sich um das Verfahren mit variabler Entscheidungsschwelle (Hauptabschnitt 4) und das Verfahren mit variabler optischer Schwelle (Hauptabschnitt 5). Darüber hinaus wird im Anhang B ein drittes Verfahren, das Sinus-Interferenzverfahren, beschrieben.

Es sollte beachtet werden, dass diese Verfahren zur Ermittlung des Fehlerverhaltens bei Verschlechterungen der Amplitude anwendbar sind. Auch Jitter können das Fehlerverhalten eines Systems beeinflussen, aber dieser Effekt erfordert andere Ermittlungsverfahren. Falls das Fehlerverhalten von Verschlechterungen durch Jitter bestimmt wird, führen die Amplitudenverfahren nach dieser Norm zu BER-Werten, die geringer als die tatsächlichen Werte sind.

Mit dem Verfahren mit variabler Entscheidungsschwelle können der Gütefaktor und die BER von LWL-Systemen mit unbekannter oder nicht vorherzusagender Rauschstatistik am genauesten gemessen werden. Eine wesentliche Einschränkung für die Anwendung des variablen Schwellwertverfahrens zur Messung von Gütefaktor und BER ist jedoch die Notwendigkeit eines Zugangs zur Empfängerelektronik, um die Entscheidungsschwelle zu manipulieren. Bei Systemen, bei denen kein Zugang möglich ist, bietet sich als Alternative das Verfahren mit variabler optischer Schwelle an. Beide Verfahren können hinsichtlich der Messung und Berechnung der Ergebnisse automatisiert werden.

3.2 Hintergründe zum Gütefaktor

Der Gütefaktor ist der Signal-Rausch-Abstand (en: signal-to-noise ratio, SNR) am Entscheider und wird gewöhnlich wie folgt angegeben [3]¹:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (1)$$

Dabei sind μ_1 und μ_0 die mittleren Spannungspegel des „1“- bzw. „0“-Werts und σ_1 und σ_0 sind die Standardabweichungen der Rauschverteilung am „1“- bzw. „0“-Wert.

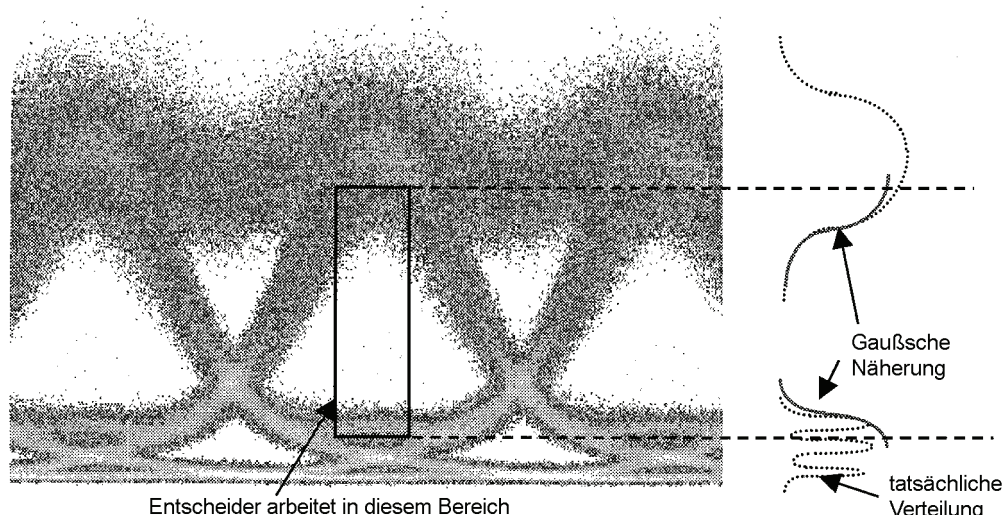
Bei einer genauen Bewertung des Übertragungsverhaltens eines Systems oder des Gütefaktors müssen die Auswirkungen aller Quellen der Verschlechterung des Betriebsverhaltens berücksichtigt werden, sowohl die elementaren Störungen als auch die real vorliegenden Störungen. Zwei wichtige Quellen sind Rauschen durch verstärkte spontane Emission (ASE) und Intersymbolinterferenz (ISI). Der Ursprung von additivem Rauschen liegt hauptsächlich in der ASE von optischen Verstärkern. ISI entsteht durch viele Effekte wie chromatische Dispersion, Fasernichtlinearitäten, Mehrweginterferenzen, Polarisationsmodendispersion und Verwendung von Elektronik mit endlicher Bandbreite. Es können natürlich auch andere Effekte vorliegen, so kann z. B. eine schlechte Impedanzanpassung Verschlechterungen wie lange Abfallzeiten oder unkontrolliertes Schwingen an einer Wellenform hervorrufen.

Ein mögliches Verfahren zur Messung des Gütefaktors ist das Verfahren mit dem Spannungshistogramm, bei dem ein digitales Abtastoszilloskop zur Messung von Spannungshistogrammen in der Mitte eines binären Auges zur Bewertung des Gütefaktors der Wellenform benutzt wird [4]. Bei diesem Verfahren wird als Stimulus ein Bitmustergenerator benutzt, und mit dem Oszilloskop werden die empfangene Augenöffnung und die Standardabweichung des in beiden Spannungsverläufen vorliegenden Rauschens gemessen. Als grobe Näherung stellt die sichtbare Flanke des Rauschens die 3- σ -Punkte einer angenommenen Gaußverteilung dar. Der Vorteil bei der Anwendung eines Oszilloskops zur Augenmessung besteht darin, dass die Messung schnell bei realem Verkehr und mit einem Minimum an Ausrüstung vorgenommen werden kann.

Das Oszilloskopverfahren zur Messung des Gütefaktors weist mehrere Mängel auf. Wenn es zur Augenmessung von Hochgeschwindigkeitsdaten (in der Größenordnung von mehreren Gbit/s) benutzt wird, ermöglicht die begrenzte digitale Abtastrate des Oszilloskops (oft im Bereich weniger hundert Kilohertz) nur die Verwendung einer kleinen Minderheit des Hochgeschwindigkeitsdatenstroms zur Messung des Gütefaktors. Längere Untersuchungszeiten können die Auswirkung der langsamen Abtastung verringern. Ein schwerwiegenderer Mangel besteht darin, dass die Schätzungen des Gütefaktors aus den Spannungshistogrammen in der Augenmitte oft ungenau sind. Verschiedene Bitmustereffekte und additives Rauschen von der Frontelektronik des Oszilloskops können oft die reale Streuung des Rauschens verdecken.

Bild 1 zeigt ein Beispiel für ein Augendiagramm eines arbeitenden Systems. In diesem Bild ist zu sehen, dass die senkrechten Histogramme durch die Augenmitte Bitmustereffekte aufweisen (weniger offensichtlich ist das Rauschen, das von der Frontelektronik des Oszilloskops hinzugefügt wird). Die Voraussage des Verhältnisses zwischen dem so gemessenen Gütefaktor und der tatsächlich mit einem Prüfaufbau gemessenen BER ist schwierig.

¹ Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.



ANMERKUNG Die Daten zur Messung des Gütefaktors werden dem Ende der Gaußverteilung entnommen.

Bild 1 – Beispiel für ein Augendiagramm mit Bitmustereffekten

Bild 2 zeigt einen anderen möglichen Weg zur Messung des Gütefaktors mit einem Oszilloskop. Diese Messung beruht darauf, mit der Augenmitte die Augenöffnung und mit der Fläche zwischen den Augenmitten das Rauschen zu ermitteln. Der Beitrag von Bitmustereffekten zur Breite des Histogramms wird damit verringert. Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass es auf Messungen beruht, die in einem Augenabschnitt durchgeführt werden, den der Empfänger tatsächlich nie benutzt.

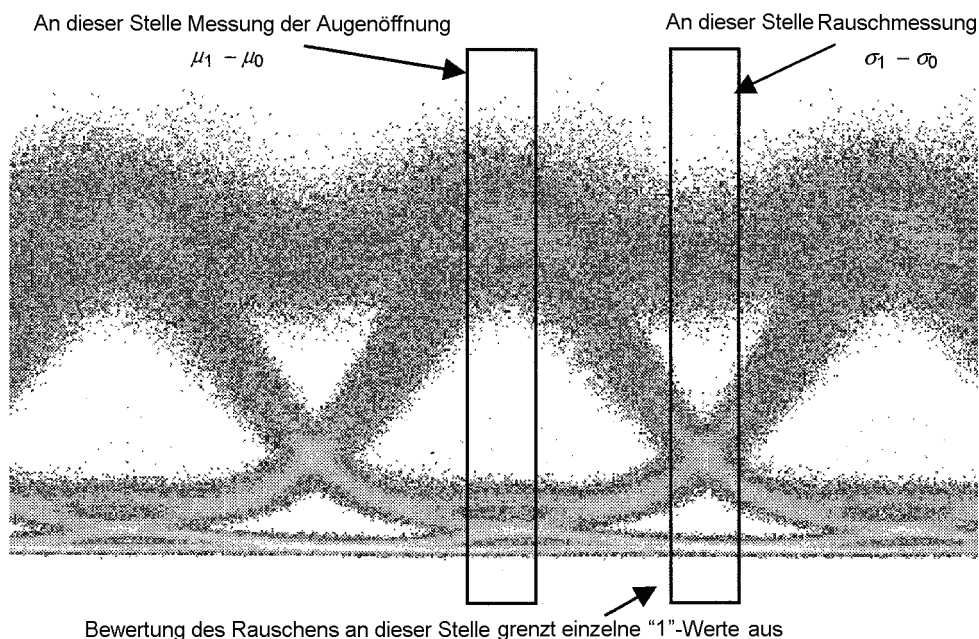


Bild 2 – Genauere Messtechnik mit einem DSO, der die Rauschstatistik zwischen den Augenmitten erfasst

Das lässt darauf schließen, dass bei beiden Verfahren mit dem Oszilloskop die Schätzungen für σ_1 und σ_0 zu hoch sind und die Messergebnisse für den Gütefaktor immer eine untere Grenze für den tatsächlichen Gütefaktor ergeben. Das ist jedoch nicht unbedingt der Fall. Es besteht die Möglichkeit, dass die Histogrammverteilungen auf andere Weise verzerrt werden, z. B. so verschoben werden, dass die Mittelwerte die Augenöffnung zu groß einschätzen und der sich ergebende Gütefaktor tatsächlich keine untere Grenze darstellt. Es besteht leider keine einfach anzugebende Beziehung zwischen Gütefaktormessungen mit dem Oszilloskop und dem BER-Verhalten.