

DIN EN 61338-1-4

ICS 31.140; 33.120.10

**Dielektrische Resonatoren vom Wellenleitertyp –
Teil 1-4: Allgemeine Informationen und Prüfbedingungen –
Messverfahren für die komplexe relative Dielektrizitätskonstante von
dielektrischen Resonatorwerkstoffen im Mikrowellen-Frequenzbereich
(IEC 61338-1-4:2005);
Deutsche Fassung EN 61338-1-4:2006**

Waveguide type dielectric resonators –
Part 1-4: General information and test conditions –
Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at
millimetre-wave frequency (IEC 61338-1-4:2005);
German version EN 61338-1-4:2006

Résonateurs diélectriques à modes guidés –
Partie 1-4: Informations générales et conditions d'essais –
Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux des résonateurs
diélectriques fonctionnant à des fréquences millimétriques (CEI 61338-1-4:2005);
Version allemande EN 61338-1-4:2006

Gesamtumfang 32 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2005-12-01 angenommene EN 61338-1-4 gilt als DIN-Norm ab 2006-06-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61338-1-4:2005-02.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 642 „Piezoelektrische Bauteile zur Frequenzstabilisierung und -selektion“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 49 „Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) 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.

Dielektrische Resonatoren vom Wellenleitertyp –
Teil 1-4: Allgemeine Informationen und Prüfbedingungen –
Messverfahren für die komplexe relative Dielektrizitätskonstante von
dielektrischen Resonatorwerkstoffen im Mikrowellen-Frequenzbereich
(IEC 61338-1-4:2005)

Waveguide type dielectric resonators –
Part 1-4: General information and test
conditions –
Measurement method of complex relative
permittivity for dielectric resonator materials at
millimetre-wave frequency
(IEC 61338-1-4:2005)

Résonateurs diélectriques à modes guidés –
Partie 1-4: Informations générales et conditions
d'essais –
Méthode de mesure de la permittivité relative
complexe des matériaux des résonateurs
diélectriques fonctionnant à des fréquences
millimétriques
(CEI 61338-1-4:2005)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2005-12-01 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2006 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61338-1-4:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 49/748/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61338-1-4, ausgearbeitet von dem IEC/TC 49 „Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2005-12-01 als EN 61338-1-4 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): 2006-09-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2008-12-01

Diese Europäische Norm verweist auf Internationale Normen. Wenn eine in Bezug genommene Internationale Norm als Europäische Norm anerkannt (übernommen) wurde oder wenn eine rein Europäische Norm existiert, so muss stattdessen die Europäische Norm angewandt werden. Die Webseite des CENELEC nennt entsprechende Informationen.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61338-1-4:2005 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich und Zweck	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Messparameter	5
4 Dielektrisches Stabresonatorverfahren mit Anregung durch NRD-Hohlleiter	6
4.1 Messgeräte und Messeinrichtung	6
4.2 Theorie und Berechnungsgleichungen	9
4.3 Messverfahren.....	14
4.4 Beispiele für Messergebnisse	17
5 Grenzwellenlängenverfahren mit Anregung durch Koaxialkabel mit kleinen Schleifen.....	19
5.1 Messgeräte und Messeinrichtung	19
5.2 Theorie und Berechnungsgleichungen	21
5.3 Messverfahren.....	25
Anhang A (informativ) Durch den Luftspalt zwischen dem dielektrischen Prüfling und der oberen leitfähigen Scheibe verursachte Fehler von ε_r	27
Anhang B (informativ) Ableitung von Gleichung (15) nach σ_f	28
Literaturhinweise	30
Bilder	
Bild 1 – Schematische Darstellung der Messgeräte	7
Bild 2 – Messeinrichtung für das dielektrische Stabresonatorverfahren mit Anregung durch NRD-Hohlleiter	8
Bild 3 – Hohlleiter-Messumformer zwischen NRD-Hohlleiter und Hohlleiter	9
Bild 4 – Aufbau eines zylindrischen dielektrischen Stabresonators, der an beiden Enden durch zwei parallele leitfähige Scheiben kurzgeschlossen ist.....	10
Bild 5 – Berechnung von u^2 und W als Funktion von v^2 für die Resonanzmoden TE_{011} , TE_{021} und TE_{031}	11
Bild 6 – Aufbau eines dielektrischen Referenzresonators für die Messung von σ_f der leitfähigen Scheiben	13
Bild 7 – Durchmesser d von TE_{011} -, TE_{021} - und TE_{031} -Modenresonatoren mit einer Resonanzfrequenz von 60 GHz	16
Bild 8 – Durchmesser d von TE_{011} -, TE_{021} - und TE_{031} -Modenresonatoren mit einer Resonanzfrequenz von 77 GHz	17
Bild 9 – Beispiel für eine TE_{021} -Modenresonanzspitze	17
Bild 10 – Messergebnisse für die Temperaturabhängigkeit von f_0 und ε' bei Saphir.....	19
Bild 11 – Messeinrichtung für das Grenzwellenlängenverfahren	20
Bild 12 – Frequenzkennlinie für einen leeren Hohlraum mit den Maßen $d = 7$ mm und $h = 31$ mm	22
Bild 13 – Korrekturterm $\Delta d/\varepsilon_a$	24
Bild 14 – Korrekturterme $\Delta A/A$ und $\Delta B/B$	24

	Seite
Bild 15 – Messeinrichtung für den Temperaturkoeffizienten der relativen Dielektrizitätskonstante	25
Bild 16 – Modendiagramm der TE_{011} - und TE_{013} -Moden für einen leeren Hohlraum	26
Bild A.1 – Fehler von ε' , verursacht durch einen Luftspalt zwischen dem dielektrischen Prüfling und der oberen leitfähigen Scheibe.....	27
Tabellen	
Tabelle 1 – Durchmesser der leitfähigen Scheibe.....	9
Tabelle 2 – Maße des dielektrischen Streifens von NRD-Hohlleitern	9
Tabelle 3 – Maße des Hohlleiter-Messumformers.....	9
Tabelle 4 – Maße von Saphir-Referenzresonatoren und deren Füllfaktor der elektrischen Teilenergie P_e und Formfaktor G	13
Tabelle 5 – Durchmesser d der Prüflinge für die Messung bei 60 GHz und 77 GHz; die Höhe h wird auf 2,25 mm und 1,80 mm für die Messung bei 60 GHz bzw. 77 GHz festgesetzt	15
Tabelle 6 – Messergebnisse für σ_r der leitfähigen Scheiben.....	18
Tabelle 7 – Messergebnisse für ε' und $\tan \delta$ von Saphir- und PTFE-Prüflingen	18
Tabelle 8 – Empfohlene Maße für den leitfähigen Zylinder.....	21

1 Anwendungsbereich und Zweck

Der vorliegende Teil von IEC 61338 beschreibt ein Messverfahren für die dielektrischen Eigenschaften von dielektrischen Resonatorwerkstoffen im Mikrowellen-Frequenzbereich.

Dieses Dokument beinhaltet zwei Messverfahren: a) das dielektrische Stabresonatorverfahren mit Anregung durch einen NRD-Hohlleiter (non-radiative dielectric waveguide, nicht strahlender dielektrischer Hohlleiter) und b) das Grenzwellenlängenverfahren mit Anregung durch Koaxialkabel mit kleinen Schleifen.

a) Das dielektrische Stabresonatorverfahren mit Anregung durch einen NRD-Hohlleiter entspricht dem dielektrischen Stabresonatorverfahren nach IEC 61338-1-3. Dieses Verfahren hat folgende Eigenschaften:

- Eine vollständige und genaue mathematische Lösung der komplexen Dielektrizitätskonstante wird durch Computersoftware ermittelt;
- der Messfehler ist für ε' kleiner als 0,3 % und für $\tan \delta$ kleiner als $0,05 \times 10^{-4}$;
- die geltenden Messbereiche für die komplexe Dielektrizitätskonstante sind bei diesem Verfahren folgende:

Frequenz: $30 \text{ GHz} < f < 100 \text{ GHz}$;

relative Dielektrizitätskonstante: $2 < \varepsilon' < 30$;

Verlustfaktor: $10^{-6} < \tan \delta < 10^{-2}$.

b) Beim Grenzwellenlängenverfahren mit Anregung durch Koaxialkabel mit kleinen Schleifen wird ein Prüfling in Form einer dielektrischen Scheibe in einem Zylinder mit dem TE_{011} -Mode angeordnet. Dieses Verfahren hat folgende Eigenschaften:

- Randeffekte werden mit Hilfe von Korrekturdiagrammen auf der Basis einer genauen Analyse korrigiert;
- der Messfehler ist für ε' kleiner als 0,5 % und für $\tan \delta$ kleiner als $0,05 \times 10^{-4}$;
- der Temperaturkoeffizient der Resonanzfrequenz (TCF) wird mit hoher Genauigkeit gemessen;
- die geltenden Messbereiche für die dielektrischen Eigenschaften sind bei diesem Verfahren folgende:

Frequenz: $30 \text{ GHz} < f < 100 \text{ GHz}$;

relative Dielektrizitätskonstante: $2 < \varepsilon' < 30$;

Verlustfaktor: $10^{-6} < \tan \delta < 10^{-2}$.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61338-1-3, *Waveguide type dielectric resonators – Part 1-3: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonators materials at microwave frequency*

3 Messparameter

Die Messparameter sind wie folgt definiert:

$$\dot{\varepsilon}_r = \varepsilon' - j\varepsilon'' = D/(\varepsilon_0 E) \quad (1)$$

$$\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon' \quad (2)$$

$$TC\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_{\text{ref}}} \frac{\varepsilon_T - \varepsilon_{\text{ref}}}{T - T_{\text{ref}}} \times 10^6 \quad (1 \times 10^{-6}/\text{K}) \quad (3)$$

$$TCF = \frac{1}{f_{\text{ref}}} \frac{f_T - f_{\text{ref}}}{T - T_{\text{ref}}} \times 10^6 \quad (1 \times 10^{-6}/\text{K}) \quad (4)$$

Dabei gilt

- D ist die elektrische Flussdichte;
- E ist die elektrische Feldstärke;
- ε_0 ist die Dielektrizitätskonstante im Vakuum;
- $\hat{\varepsilon}_r$ ist die komplexe relative Dielektrizitätskonstante;
- ε' und ε'' sind der Realteil und der Imaginärteil der komplexen relativen Dielektrizitätskonstante $\hat{\varepsilon}_r$;
- $TC\varepsilon$ ist der Temperaturkoeffizient der relativen Dielektrizitätskonstante und TCF der Temperaturkoeffizient der Resonanzfrequenz;
- ε_T und ε_{ref} sind die Realteile der komplexen relativen Dielektrizitätskonstante bei der Temperatur T bzw. der Referenztemperatur T_{ref} ($T_{\text{ref}} = 20^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$);
- f_T und f_{ref} sind die Resonanzfrequenzen bei den Temperaturen T bzw. T_{ref} .

TCF und $TC\varepsilon$ stehen nach folgender Gleichung miteinander in Beziehung:

$$TCF = -\frac{1}{2}TC\varepsilon - \alpha \quad (5)$$

Dabei ist α der Wärmeausdehnungskoeffizient des dielektrischen Prüflings.

Es sollte beachtet werden, dass diese Gleichung nur dann erfüllt ist, wenn die elektromagnetische Energie im Messresonanzmode vollständig zu 100 % innerhalb des dielektrischen Prüflings konzentriert ist. In der Praxis weicht TCF um mehrere $10^{-6}/\text{K}$ vom Rechenwert ab, weil ein Teil der elektromagnetischen Energie außerhalb des dielektrischen Prüflings gespeichert wird.

4 Dielektrisches Stabresonatorverfahren mit Anregung durch NRD-Hohlleiter

4.1 Messgeräte und Messeinrichtung

Es werden folgende Messgeräte und folgende Messeinrichtung verwendet:

a) Messgeräte

Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung der für die Mikrowellenfrequenzmessung erforderlichen Geräte. Zur Messung der dielektrischen Eigenschaften sind nur Informationen über die Amplitude der übertragenen Leistung notwendig, d. h., es sind keine Informationen über die Phasenlage der übertragenen Leistung erforderlich. Für die Messung kann ein skalarer Netzwerkanalysator benutzt werden, ein Vektor-Netzwerkanalysator hat jedoch den Vorteil, dass er genauere Messwerte liefert.

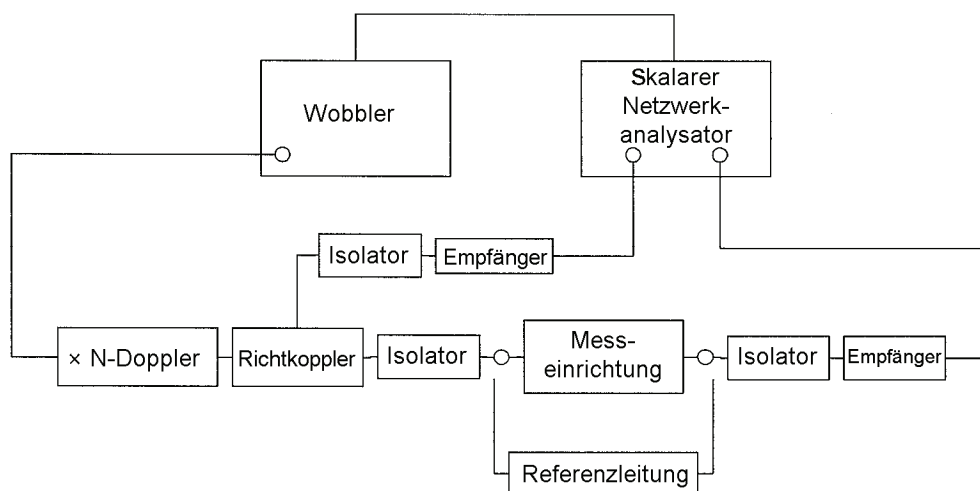


Bild 1a – Skalarer Netzwerkanalysator

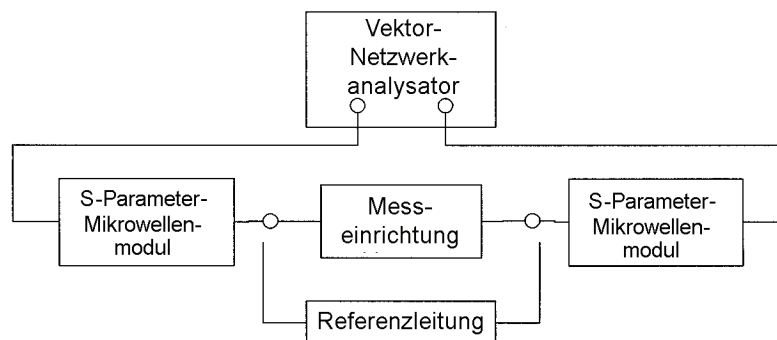


Bild 1b – Vektor-Netzwerkanalysator

Bild 1 – Schematische Darstellung der Messgeräte

b) Messeinrichtung

Bild 2a zeigt den Aufbau der Messeinrichtung für das dielektrische Stabresonatorverfahren mit Anregung durch einen NRD-Hohlleiter. Bild 2b zeigt die Schnittdarstellung der Einrichtung für die Messung von ϵ' und $\tan \delta$ eines dielektrischen Prüflings der Höhe h und d . Der dielektrische Prüfling wird in der Mitte der Einrichtung zwischen zwei parallelen leitenden Scheiben angeordnet und mit dem Eingangs- und dem Ausgangs-NRD-Hohlleiter gekoppelt. Zwischen dem dielektrischen Prüfling und der oberen leitfähigen Scheibe bleibt ein kleiner Luftspalt Δh bestehen. Bei $\Delta h < 50 \mu\text{m}$ kann der Luftspalt bei der Berechnung von ϵ' vernachlässigt werden (siehe Anhang A).

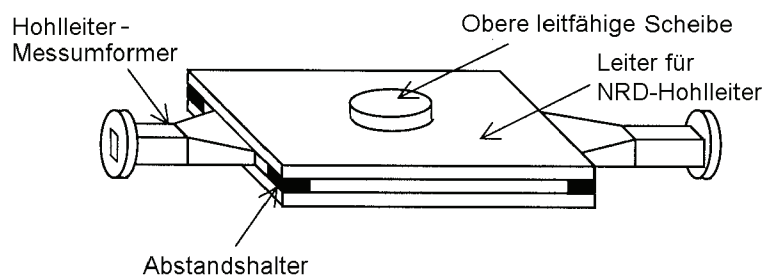


Bild 2a – Aufbau der Einrichtung

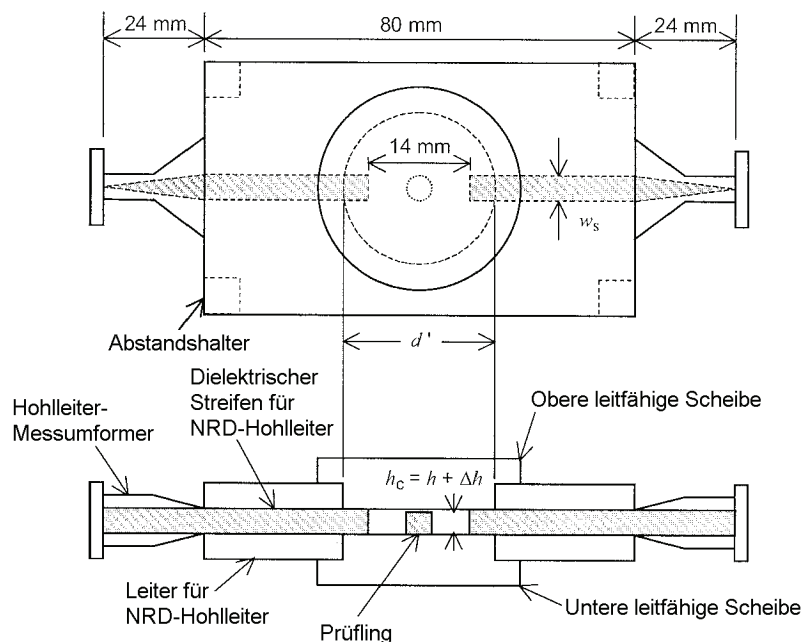
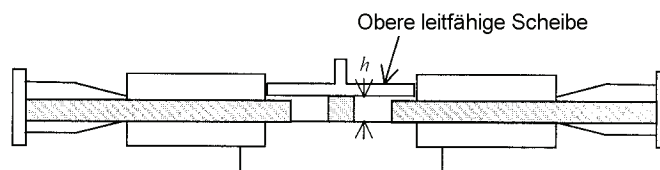
Bild 2b – Einrichtung für die Messung von ϵ' und $\tan \delta$ Bild 2c – Einrichtung für die Messung von TCF und $TC\epsilon$

Bild 2 – Messeinrichtung für das dielektrische Stabresonatorverfahren mit Anregung durch NRD-Hohlleiter

Bild 2c zeigt eine Einrichtung zur Messung des Temperaturkoeffizienten der Resonanzfrequenz TCF oder der relativen Dielektrizitätskonstante $TC\epsilon$. Für diese Messung sollten sich die obere leitfähige Scheibe und der dielektrische Prüfling berühren. Die Höhe h_s des dielektrischen Streifens des NRD-Hohlleiters wird kleiner ausgelegt als die Höhe h des dielektrischen Prüflings. Die obere leitfähige Scheibe wird vorsichtig so eingesetzt, dass sie die obere Fläche des Prüflings berührt und dass kein übermäßiger Druck die Oberfläche der leitfähigen Scheibe beschädigt.

Wie in Tabelle 1 angegeben wird der Durchmesser der leitfähigen Scheiben im Bild 2b durch den Durchmesser des dielektrischen Prüflings bestimmt. Bei diesem Messverfahren werden ϵ' und $\tan \delta$ unter der Bedingung berechnet, dass die leitfähigen Scheiben einen unendlich großen Durchmesser haben. Da die tatsächlich vorhandenen leitfähigen Scheiben einen endlichen Durchmesser besitzen, dringt ein Teil der elektromagnetischen Energie aus den leitfähigen Scheiben nach außen. Diese Leckenergie verschiebt die Resonanzfrequenz und senkt den unbelasteten Gütefaktor. Obwohl diese Leckenergie die Resonanzfrequenz verschiebt und den unbelasteten Gütefaktor Q senkt, ist ihr Beitrag unter der Bedingung $d'/d > 5$ vernachlässigbar klein.

Tabelle 2 gibt Beispielmaße für dielektrische Streifen des NRD-Hohlleiters im Bild 2b an. Die dielektrischen Streifen des NRD-Hohlleiters bestehen aus PTFE oder vernetztem Styrol-Kopolymer.

Bild 3 zeigt einen Hohlleiter-Messumformer, der die Messeinrichtung mit den Messgeräten über WR-15- oder WR-10-Hohlleiter verbindet. Tabelle 3 gibt die Maße des Hohlleiter-Messumformers an. Wie im Bild 2b angegeben läuft der dielektrische Streifen des NRD-Hohlleiters im Messumformer spitz zu.