

DIN EN 62810

ICS 17.220.20

Einsprüche bis 2013-10-19

Entwurf**Zylindrisches Hohlraumverfahren zur Messung der komplexen Permittivität von verlustarmen dielektrischen Stäben
(IEC 46F/228/CD:2013)**

Cylindrical cavity method to measure the complex permittivity of low-loss dielectric rods
(IEC 46F/228/CD:2013)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2013-08-19 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 34 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Messparameter	4
4 Theorie und Gleichungen	5
5 Mess-System	11
6 Messverfahren	13
6.1 Vorbereiten der Prüfeinrichtung	13
6.2 Messung des Referenzpegels	13
6.3 Messung der Parameter des Hohlraums: σ_r	13
6.4 Messung der komplexen Permittivität des Prüfmusters: ϵ' , $\tan\delta$	13
Anhang A (informativ)	14
A.1 Messung der Werte von ϵ' und $\tan\delta$	14
A.2 Messunsicherheit von ϵ' und $\tan\delta$	15
Literaturhinweise	17

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 46F/228/CD:2013 „Cylindrical cavity method to measure the complex permittivity of low-loss dielectric rods“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 46F „RF and microwave passive components“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.4 „Passive HF- und Mikrowellenbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Zylindrisches Hohlraumverfahren zur Messung der komplexen Permittivität von verlustarmen dielektrischen Stäben

1 Anwendungsbereich

Diese internationale Norm beschreibt ein Messverfahren zur Messung der komplexen Permittivität von verlustarmen dielektrischen Stäben im Frequenzbereich von Mikrowellen. Dieses Verfahren wurde zur Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften von verlustarmen Werkstoffen in Koaxialkabeln und elektronischen Geräten zum Einsatz in Mikrowellensystemen entwickelt. Es verwendet den TM_{010} Modus in einem kreiszylindrischen Hohlraum und stellt genaue Messergebnisse der Probe eines dielektrischen Stabes zur Verfügung. Dabei wird die Wirkung von Einsetzlöchern für die Prüfstäbe auf der Grundlage der gründlichen elektromagnetischen Analyse, (rigorous electromagnetic analysis), exakt berücksichtigt. Im Vergleich mit dem in IEC 60556 beschriebenen herkömmlichen Verfahren, weist dieses Verfahren die folgenden Merkmale auf:

- Die Werte der relativen Permittivität ϵ' und des Verlustwinkels $\tan\delta$ einer Probe eines dielektrischen Stabes können genau und zerstörungsfrei gemessen werden;
 - Die Messgenauigkeit liegt innerhalb von 1,0 % für ϵ' und innerhalb 20 % für $\tan\delta$;
 - Die Wirkung der Einsetzlöcher für den Prüfling wird unter Verwendung der vorliegenden Korrekturdiagramme korrigiert;
 - Dieses Verfahren ist anwendbar für Messungen unter folgenden Bedingungen:
- Frequenz : $1 \text{ GHz} \leq f \leq 10 \text{ GHz}$;
 - relative Permittivität : $1 \leq \epsilon' \leq 100$;
 - Verlustwinkel : $10^{-4} \leq \tan\delta \leq 10^{-1}$.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 60050, *International Electrical Vocabulary*

IEC 60556:2006, *Gyromagnetic materials intended for application at microwave frequencies – Measuring methods for properties*

3 Messparameter

Die Messparameter sind wie folgt definiert:

$$\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

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

dabei sind ϵ' und ϵ'' Real- und Imaginärteil der komplexen relativen Permittivität ϵ_r .

4 Theorie und Gleichungen

Die Konstruktion eines zylindrischen Hohlraumresonators der in diesen Messungen verwendet wird, ist in Bild 1 gezeigt. Ein Hohlraum aus Kupfer mit dem Durchmesser D und der Höhe H hat Einsetzlöcher für den Prüfling mit einem Durchmesser d_2 und einer Tiefe g die koaxial ausgerichtet sind. Ein Prüfmuster eines dielektrischen Stabes vom Durchmesser d_1 mit ϵ' und $\tan\delta$ wird in die Löcher eingeführt.

Der TM_{01} Modus, in dem die elektrische Feldkomponente im Hohlraum parallel zum Probekörper liegt, wird für die Messung verwendet. Unter Berücksichtigung des Effekts der Einsetzlöcher für die Prüfstäbe auf der Grundlage der gründlichen elektromagnetischen Analyse wird ϵ' und $\tan\delta$ aus den gemessenen Werten der Resonanzfrequenz f_0 und dem unbelasteten Q -Faktor Q_{u0} berechnet. Um die mühsame numerische Berechnung zu vermeiden und die Messungen zu vereinfachen, wird das folgende Verfahren in diese Messung aufgenommen:

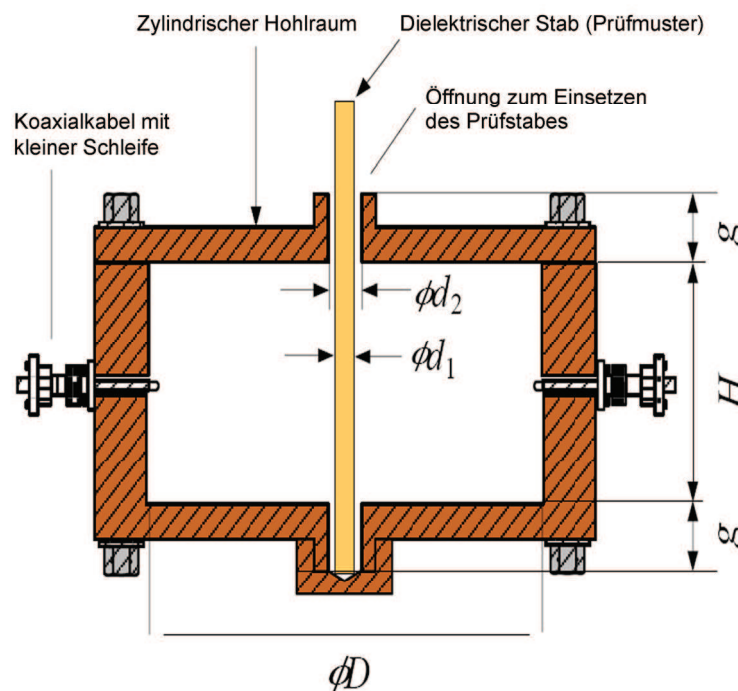


Bild 1 – Konstruktion eines zylindrischen Hohlraumresonators

- a) Im ersten Schritt sind die Richtwerte ϵ'_p und $\tan\delta_p$ aus den Werten f_0 und Q_u mit Hilfe der einfachen Störungsgleichungen, bei denen die Wirkung der Einsetzlöcher für die Prüflinge vernachlässigt wird, zu bestimmen. Der Index p bezeichnet die berechneten Werte mithilfe der folgenden Störungsgleichungen:

$$\epsilon'_p = \frac{1}{\alpha} \frac{f_0 - f_1}{f_1} \left(\frac{D}{d_1} \right)^2 + 1 \quad (3)$$

$$\tan\delta_p = \frac{1}{2\alpha\epsilon'_p} \left(\frac{D}{d_1} \right)^2 \left(\frac{1}{Q_{u1}} - \frac{1}{Q_{u0}} \right) \quad (4)$$

dabei ist $\alpha = 1/J_1(x_{01})^2 = 1,855$. $J_n(x)$ ist die Bessel-Funktion der n-ten Ordnung der ersten Art und $x_{01} = 2,405$ ist die erste Wurzel aus $J_0(x) = 0$.

Die Werte f_0 und Q_{u0} sind die Resonanzfrequenzen bzw. der unbelastete Q -Faktor; gemessen für den Hohlraum ohne Prüfmuster. Die Werte für f_1 und Q_{u1} wurden für einen Hohlraum mit Prüfmuster gemessen.

- b) Im zweiten Schritt sind genaue Werte für ε' und $\tan\delta$ aus ε_p' und $\tan\delta_p$ unter Verwendung der folgenden Gleichungen mit berechneten Korrekturfaktoren auf der Basis der gründlichen Analyse zu erhalten:

$$\varepsilon' = C_1 \varepsilon_p' \quad (5)$$

$$\tan\delta = C_2 \tan\delta_p \quad (6)$$

dabei sind die Korrekturfaktoren C_1 und C_2 aufgrund der Einsetzlöcher für die Prüfmuster und Fehler die in den Störungsgleichungen enthalten sind, numerisch unter Verwendung der Ritz-Galerkin Methode berechnet, wie in den Bildern 2 und 3 gezeigt. Die entsprechenden Daten werden detailliert in den Tabellen 1, 2 und 3 aufgeführt. Die fehlenden Daten von C_1 und C_2 können durch Interpolation oder Extrapolation aus den Tabellen erhalten werden. Die Korrekturfaktoren die in diesen Tabellen gezeigt werden, sind für den Hohlraum berechnet mit $D=76,5$ mm, $H=20,0$ mm, $d_2=3,0$ mm, und $g=10,0$ mm, wobei die Resonanzfrequenz ca. 3 GHz beträgt. C_1 wird auch für einen Hohlraum mit dem gleichen Seitenverhältnis verwendet wie H/D , d_2/D und g/D .

Aus der Analyse für einen Hohlraum mit Einsetzlöchern, die eine Grenzfrequenz des TM_{01} Modus eines zylindrischen Wellenleiter bilden wurde gefunden, dass f_0 zu einem konstanten Wert für $g>10$ mm und $d_2=3$ mm konvergiert. Daher sind die in den Bildern 2 und 3 dargestellten Korrekturfaktoren anwendbar auf einen dielektrischen Prüfstab mit $d_1<3$ mm und ε' unterhalb des berechneten Wertes durch die folgende Gleichung für den gemessenen Wert der Resonanzfrequenz:

$$\varepsilon' \leq \left(\frac{x_{01} c}{\pi d_2 f_0} \right)^2 \quad (07)$$

dabei ist c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ($c=2,9979 \times 10^8$ m/s).

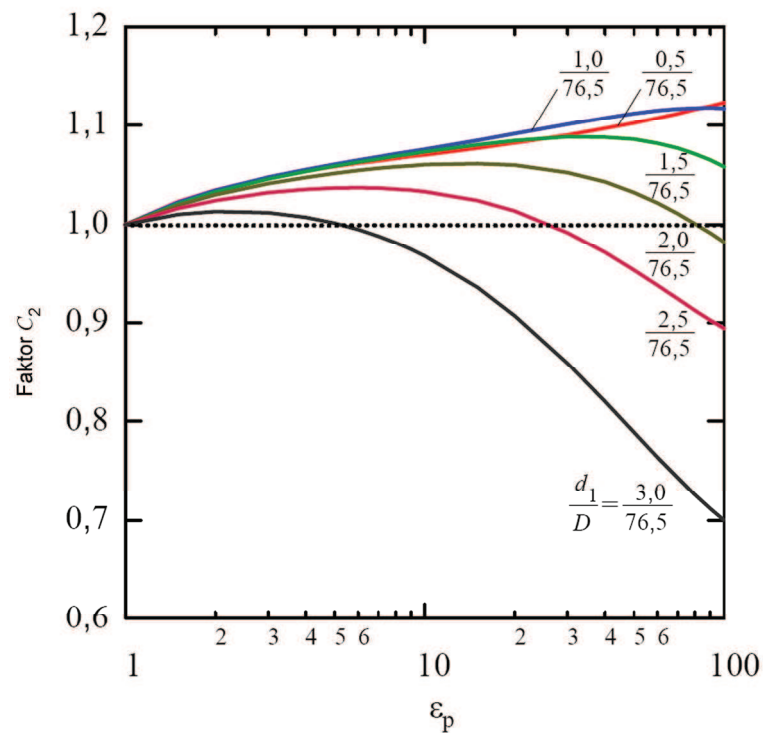


Bild 2 – Korrekturfaktor C1 für ε'
 ($D=76,5$ mm, $H=20,0$ mm, $d_2=3,0$ mm, und $g=10,0$ mm)

Tabelle 1 – Numerische Werte des Korrekturfaktors C1

ε_p	$d_1(\text{mm})$					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1,5	1,023	1,022	1,021	1,019	1,016	1,010
2	1,035	1,034	1,033	1,030	1,024	1,013
3	1,047	1,047	1,046	1,041	1,032	1,012
4	1,054	1,055	1,053	1,047	1,035	1,007
5	1,058	1,060	1,059	1,051	1,037	1,001
6	1,061	1,064	1,063	1,054	1,037	0,995
7	1,064	1,068	1,066	1,056	1,037	0,988
8	1,066	1,071	1,069	1,058	1,036	0,981
9	1,068	1,073	1,071	1,059	1,035	0,975
10	1,070	1,076	1,073	1,060	1,033	0,968
15	1,077	1,085	1,080	1,061	1,024	0,936
20	1,082	1,091	1,084	1,060	1,013	0,907
30	1,090	1,101	1,088	1,052	0,992	0,859
40	1,097	1,107	1,088	1,043	0,971	0,820
50	1,102	1,112	1,086	1,032	0,953	0,789
60	1,107	1,115	1,082	1,021	0,938	0,764
70	1,112	1,117	1,077	1,011	0,924	0,743
80	1,116	1,118	1,071	1,001	0,912	0,726
90	1,119	1,118	1,065	0,991	0,903	0,712
100	1,123	1,117	1,058	0,982	0,894	0,700

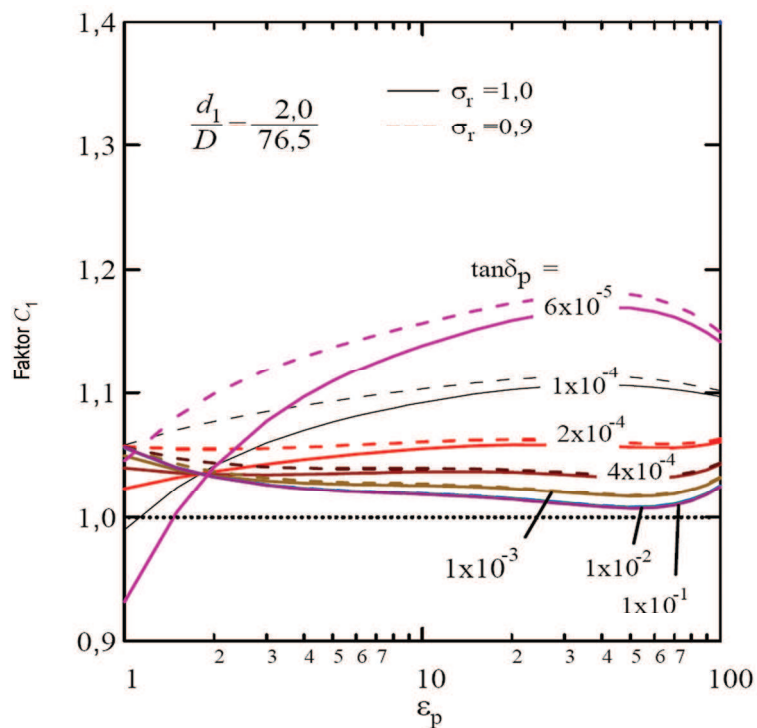
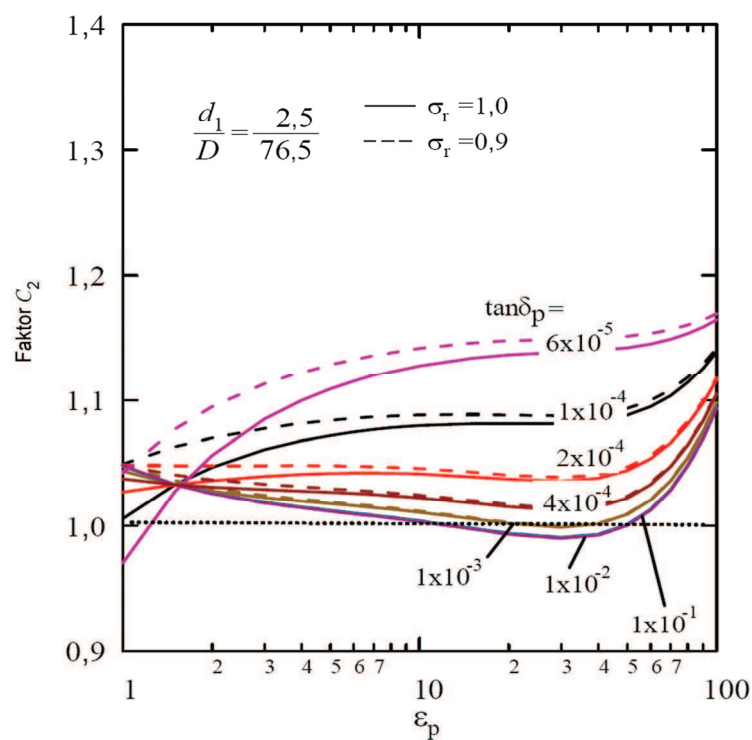
(a) Dielektrischer Prüfstab mit $d_1 = 2.0$ mm(b) Dielektrischer Prüfstab mit $d_1 = 2.5$ mm

Bild 3 – Korrekturfaktor C_2 für $\tan \delta$ mit den unterschiedlichen Werten von d_1
 ($D = 76.5$ mm, $H = 20.0$ mm, $d_2 = 3.0$ mm, und $g = 10.0$ mm)

Tabelle 2 – Numerische Werte des Korrekturfaktors C_2

(Dielektrischer Prüfstab mit $d_1=2,0$ mm)

$\sigma_r=0,9$

ϵ_p	$\tan \delta_p$						
	6×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	4×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}
1	1,045	1,058	1,057	1,057	1,057	1,056	1,056
1,5	1,081	1,070	1,055	1,048	1,043	1,040	1,040
2	1,099	1,077	1,055	1,044	1,037	1,033	1,033
3	1,119	1,085	1,055	1,041	1,032	1,026	1,026
4	1,130	1,090	1,056	1,040	1,030	1,024	1,023
5	1,137	1,093	1,057	1,039	1,029	1,022	1,021
6	1,143	1,096	1,058	1,039	1,028	1,021	1,020
7	1,147	1,098	1,059	1,039	1,028	1,020	1,020
8	1,151	1,100	1,060	1,039	1,027	1,020	1,019
9	1,154	1,102	1,060	1,039	1,027	1,019	1,019
10	1,157	1,103	1,061	1,039	1,027	1,019	1,018
15	1,167	1,108	1,062	1,039	1,025	1,017	1,016
20	1,173	1,111	1,063	1,038	1,024	1,015	1,014
30	1,179	1,113	1,062	1,036	1,021	1,012	1,011
40	1,181	1,114	1,061	1,034	1,019	1,009	1,008
50	1,180	1,113	1,060	1,033	1,018	1,008	1,007
60	1,177	1,111	1,059	1,033	1,018	1,009	1,008
70	1,172	1,109	1,059	1,034	1,019	1,011	1,010
80	1,165	1,106	1,060	1,036	1,022	1,014	1,013
90	1,158	1,104	1,061	1,040	1,027	1,019	1,018
100	1,150	1,102	1,063	1,044	1,032	1,025	1,025

$\sigma_r=1,0$

ϵ_p	$\tan \delta_p$						
	6×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	4×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}
1	0,932	0,990	1,023	1,040	1,050	1,056	1,056
1,5	1,004	1,024	1,032	1,036	1,038	1,040	1,040
2	1,040	1,042	1,037	1,035	1,033	1,033	1,032
3	1,077	1,060	1,043	1,034	1,029	1,026	1,026
4	1,097	1,070	1,046	1,035	1,028	1,023	1,023
5	1,110	1,077	1,049	1,035	1,027	1,022	1,021
6	1,118	1,081	1,051	1,036	1,026	1,021	1,020
7	1,125	1,085	1,052	1,036	1,026	1,020	1,020
8	1,131	1,088	1,053	1,036	1,026	1,020	1,019
9	1,135	1,090	1,054	1,037	1,026	1,019	1,019
10	1,139	1,092	1,055	1,037	1,026	1,019	1,018
15	1,152	1,099	1,058	1,037	1,024	1,017	1,016
20	1,159	1,103	1,058	1,036	1,023	1,015	1,014
30	1,167	1,106	1,058	1,034	1,020	1,012	1,011
40	1,170	1,107	1,057	1,033	1,018	1,009	1,008
50	1,169	1,106	1,056	1,032	1,017	1,008	1,007
60	1,166	1,104	1,056	1,032	1,017	1,008	1,008
70	1,162	1,103	1,056	1,033	1,019	1,010	1,010
80	1,156	1,101	1,057	1,035	1,022	1,014	1,013
90	1,150	1,099	1,059	1,038	1,026	1,019	1,018
100	1,142	1,097	1,061	1,043	1,032	1,025	1,025

Tabelle 3 – Numerische Werte des Korrekturfaktors C_2 (Dielektrischer Prüfstab mit $d_1=2,5$ mm) $\sigma_r=0,9$

ϵ_p	$\tan \delta_p$						
	6×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	4×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}
1	1,042	1,049	1,049	1,048	1,048	1,048	1,048
1,5	1,077	1,063	1,048	1,040	1,036	1,033	1,033
2	1,095	1,070	1,048	1,037	1,030	1,026	1,026
3	1,113	1,078	1,048	1,033	1,024	1,019	1,018
4	1,123	1,081	1,048	1,031	1,021	1,015	1,014
5	1,129	1,084	1,048	1,030	1,019	1,012	1,012
6	1,133	1,086	1,047	1,028	1,017	1,010	1,009
7	1,136	1,087	1,047	1,027	1,015	1,008	1,008
8	1,139	1,087	1,047	1,026	1,014	1,007	1,006
9	1,141	1,088	1,046	1,025	1,013	1,005	1,004
10	1,142	1,088	1,046	1,024	1,011	1,004	1,003
15	1,146	1,088	1,043	1,020	1,006	0,998	0,997
20	1,148	1,088	1,040	1,017	1,002	0,994	0,993
30	1,150	1,088	1,039	1,014	0,999	0,991	0,990
40	1,150	1,089	1,041	1,016	1,002	0,993	0,992
50	1,152	1,094	1,047	1,023	1,009	1,001	1,000
60	1,154	1,100	1,056	1,034	1,021	1,013	1,012
70	1,157	1,108	1,068	1,048	1,036	1,029	1,028
80	1,161	1,118	1,083	1,065	1,055	1,048	1,048
90	1,165	1,130	1,100	1,084	1,075	1,070	1,069
100	1,170	1,142	1,118	1,106	1,098	1,094	1,094

 $\sigma_r=1,0$

ϵ_p	$\tan \delta_p$						
	6×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	4×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}
1	0,970	1,006	1,027	1,037	1,044	1,048	1,048
1,5	1,027	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
2	1,056	1,046	1,036	1,031	1,028	1,026	1,026
3	1,085	1,060	1,039	1,029	1,022	1,019	1,018
4	1,100	1,068	1,041	1,028	1,020	1,015	1,014
5	1,109	1,072	1,042	1,027	1,018	1,012	1,012
6	1,115	1,075	1,042	1,026	1,016	1,010	1,009
7	1,120	1,077	1,042	1,025	1,014	1,008	1,008
8	1,123	1,078	1,042	1,024	1,013	1,007	1,006
9	1,126	1,079	1,042	1,023	1,012	1,005	1,004
10	1,128	1,080	1,041	1,022	1,011	1,004	1,003
15	1,134	1,081	1,039	1,018	1,006	0,998	0,997
20	1,137	1,081	1,037	1,015	1,002	0,994	0,993
30	1,139	1,081	1,035	1,012	0,999	0,990	0,990
40	1,141	1,083	1,038	1,015	1,001	0,993	0,992
50	1,143	1,088	1,044	1,022	1,009	1,001	1,000
60	1,146	1,095	1,054	1,033	1,021	1,013	1,012
70	1,150	1,104	1,066	1,047	1,036	1,029	1,028
80	1,154	1,114	1,081	1,064	1,054	1,048	1,048
90	1,159	1,126	1,098	1,084	1,075	1,070	1,069
100	1,165	1,139	1,116	1,105	1,098	1,094	1,094

Der Wert der relativen Leitfähigkeit σ_r wird bestimmt durch den gemessenen unbelasteten Q -faktor Q_{u0} bei f_0 für den TM_{010} Modus durch folgende Gleichung:

$$\sigma_r = \left\{ Q_{u0} \frac{\delta_{s0}}{\lambda_0} \frac{2\pi \left(1 + \frac{D}{2H}\right)}{x_{01}} \right\}^2 \quad (8)$$

dabei ist $\lambda_0 = c/f_0$ die Wellenlänge; die Eindringtiefe δ_{s0} bei f_0 ist wie folgt definiert:

$$\delta_{s0} = \sqrt{\frac{1}{\pi f_0 \mu_0 \sigma_0}} \quad (9)$$

dabei ist μ_0 die Permeabilität des Vakuums und $\sigma_0 = 5,8 \times 10^7$ S/m die Leitfähigkeit von Standard Kupfer.

Die Messunsicherheiten von ε' und $\tan\delta$, $\Delta\varepsilon'$ und $\Delta\tan\delta$, werden als mittlere quadratische Fehler geschätzt und sind jeweils gegeben durch:

$$(\Delta\varepsilon')^2 = (\Delta\varepsilon'_{f_0})^2 + (\Delta\varepsilon'_{f_1})^2 + (\Delta\varepsilon'_{d_1})^2 + (\Delta\varepsilon'_D)^2 + (\Delta\varepsilon'_{C_1})^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} (\Delta\tan\delta)^2 &= (\Delta\tan\delta_{\varepsilon'_p})^2 + (\Delta\tan\delta_{d_1})^2 + (\Delta\tan\delta_D)^2 \\ &+ (\Delta\tan\delta_{Q_{u0}})^2 + (\Delta\tan\delta_{Q_{u1}})^2 + (\Delta\tan\delta_{C_2})^2 \end{aligned} \quad (11)$$

dabei sind $\Delta\varepsilon'_{f_0}$, $\Delta\varepsilon'_{f_1}$, $\Delta\varepsilon'_{d_1}$, $\Delta\varepsilon'_D$, und $\Delta\varepsilon'_{C_1}$ die Unsicherheiten von ε' durch die Standard-Abweichung von f_0 , f_1 , d_1 , D und C_1 . Ferner werden $\Delta\tan\delta$ hauptsächlich dem Messfehler von ε'_p , d_1 , D , Q_{u0} , Q_{u1} und C_2 zugeschrieben. $\Delta\tan\delta_{\varepsilon'_p}$, $\Delta\tan\delta_{d_1}$, $\Delta\tan\delta_D$, $\Delta\tan\delta_{Q_{u0}}$, $\Delta\tan\delta_{Q_{u1}}$ und $\Delta\tan\delta_{C_2}$ sind die Unsicherheiten von δ aufgrund ihrer jeweiligen Standardabweichungen.

5 Mess-System

Bild 4 zeigt ein schematisches Diagramm von zwei Systemen zur Messung von Mikrowellen. Zur Messung der dielektrischen Eigenschaften ist nur die Information über die Höhe der übertragenen Leistung erforderlich, d.h. die Information über die Phase der übertragenen Leistung ist nicht erforderlich. Daher kann ein skalarer Netzwerkanalysator für die in der Bild 4a dargestellten Messung verwendet werden. Jedoch ist ein vektorieller Netzwerkanalysator wie in der Bild 4b dargestellt, von Vorteil in der Präzision der Messung.