

EUR 5026 d

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

UNTERSUCHUNG
DER VERWENDUNGSMÖGLICHKEIT
VON KAPAZITIVEN MESS-SONDEN
ZUR TRANSIENTEN VOIDFRACTION-MESSUNG IN
EINER ZWEIPHASENSTRÖMUNG WASSER-DAMPF

von

P. HERZBERGER und C. BONVINI

1973



Gemeinsame Kernforschungstelle
Forschungsanstalt Ispra - Italien

Division Technologie

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Gemeinschaften ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, ihre Vertragspartner und die in deren Namen handelnden Personen :

keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;

keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird in den auf der vierten Umschlagseite genannten Vertriebsstellen

zum Preise von BF 40,-

verkauft.

**Kommission der
Europäischen Gemeinschaften
GD XIII - ZID
29, rue Aldringen
L u x e m b o u r g
September 1973**

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

EUR 5026 d

UNTERSUCHUNG DER VERWENDUNGSMÖGLICHKEIT
VON KAPAZITIVEN MESS-SONDEN ZUR TRANSIENTEN
VOIDFRACTION-MESSUNG IN EINER ZWEIFHASENSTRÖMUNG
WASSER-DAMPF von P. HERZBERGER und C. BONVINI

Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra — Italien
Division Technologie

Luxemburg, September 1973 — 16 Seiten — 13 Abbildungen — BF 40,—

Die Verwendung kapazitiver Meßsonden verschiedener Form für die transiente Void-Fraction-Messung in einer Zweiphasenströmung (Wasserdampf) wird untersucht. Verschiedene Void-Geometrien werden simuliert und mit einer kapazitiven Meßbrücke (Meßfrequenz 1 kHz) gemessen.

Die Versuche zeigen den großen Einfluß des „Formfaktors“, d. h. die für einen gegebenen Wert der Void-Fraction verschieden mögliche Verteilung des Wasser- und Dampfanteils und führen zum Schluß, daß ohne Kenntnis der Void-form die als Funktion der Void-Fraction gemessenen Kapazitätswerte nicht ausgewertet werden können.

EUR 5026 d

THE USE OF CAPACITANCE PROBES FOR TRANSIENT VOID-
FRACTION MEASUREMENTS IN A TWO PHASE FLOW WATER-
VAPOR by P. HERZBERGER, C. BONVINI

Commission of the European Communities
Joint Nuclear Research Centre — Ispra Establishment (Italy)
Technology Division

Luxembourg, September 1973 — 16 Pages — 13 Figures — B. Fr. 40,—

Capacitance probes for transient void-fraction measurements in a two phase flow system (water vapor) are examined. A capacitance bridge with a frequency of 1 khz was used for the measurements. Different geometries of void are simulated.

The tests show an important dependence of the void geometry for constant void fraction. Thus the proposed method can be used only when the void distribution is known.

EUR 5026 d

THE USE OF CAPACITANCE PROBES FOR TRANSIENT VOID-
FRACTION MEASUREMENTS IN A TWO PHASE FLOW WATER-
VAPOR by P. HERZBERGER, C. BONVINI

Commission of the European Communities
Joint Nuclear Research Centre — Ispra Establishment (Italy)
Technology Division

Luxembourg, September 1973 — 16 Pages — 13 Figures — B. Fr. 40,—

Capacitance probes for transient void-fraction measurements in a two phase flow system (water vapor) are examined. A capacitance bridge with a frequency of 1 khz was used for the measurements. Different geometries of void are simulated.

The tests show an important dependence of the void geometry for constant void fraction. Thus the proposed method can be used only when the void distribution is known.

EUR 5026 d

THE USE OF CAPACITANCE PROBES FOR TRANSIENT VOID-
FRACTION MEASUREMENTS IN A TWO PHASE FLOW WATER-
VAPOR by P. HERZBERGER, C. BONVINI

Commission of the European Communities
Joint Nuclear Research Centre — Ispra Establishment (Italy)
Technology Division

Luxembourg, September 1973 — 16 Pages — 13 Figures — B. Fr. 40,—

Capacitance probes for transient void-fraction measurements in a two phase flow system (water vapor) are examined. A capacitance bridge with a frequency of 1 khz was used for the measurements. Different geometries of void are simulated.

The tests show an important dependence of the void geometry for constant void fraction. Thus the proposed method can be used only when the void distribution is known.

EUR 5026 d

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften hat die folgenden Informationen über die vorliegende Studie erhalten:

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen des gemeinsamen Kernforschungsprogramms der Europäischen Gemeinschaften durchgeführt. Sie ist das Ergebnis der Zusammenarbeit zwischen den Kernforschungsstellen der Gemeinschaften.

Die Studie wurde von der Gemeinsamen Kernforschungsstelle der Europäischen Gemeinschaften in Ispra, Italien, durchgeführt.

UNTERSUCHUNG DER VERWENDUNGSMÖGLICHKEIT VON KAPAZITIVEN MESS-SONDEN ZUR TRANSIENTEN VOIDFRACTION-MESSUNG IN EINER ZWEIPHASENSTRÖMUNG WASSER-DAMPF

von

P. HERZBERGER und C. BONVINI

1973



**Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra - Italien**

Division Technologie

ZUSAMMENFASSUNG

Die Verwendung kapazitiver Meßsonden verschiedener Form für die transiente Void-Fraction-Messung in einer Zweiphasenströmung (Wasserdampf) wird untersucht. Verschiedene Void-Geometrien werden simuliert und mit einer kapazitiven Meßbrücke (Meßfrequenz 1 kHz) gemessen.

Die Versuche zeigen den großen Einfluß des „Formfaktors“, d. h. die für einen gegebenen Wert der Void-Fraction verschieden mögliche Verteilung des Wasser- und Dampfanteils und führen zum Schluß, daß ohne Kenntnis der Void-form die als Funktion der Void-Fraction gemessenen Kapazitätswerte nicht ausgewertet werden können.

SCHLAGWÖRTER

CAPACITORS
ELECTRIC PROBES
VOID FRACTION
WATER
STEAM
TWO-PHASE FLOW
TRANSIENTS
MEASURING INSTRUMENTS
DISTRIBUTION
VOIDS

INHALTSVERZEICHNIS *)

1. Allgemeines	5
2. Formsimulierung	5
A. Die Koaxialsonde	6
B. Die Schalensonde	8
C. Die Spiralsonde	10
3. Zusammenfassung	10

*) Manuskript erhalten am 28. Mai 1973

1. Allgemeines

Die Verwendungsmöglichkeit von kapazitiven Mess-Sonden zur Void-fraction-Messung im Wasser-Dampfgemisch soll in Abhängigkeit verschiedener, in der Praxis auftretender Formfaktoren untersucht werden. Unter der Bezeichnung "Formfaktor" ist die verschiedene räumliche Verteilung des Wässer- und Dampfanteiles im zu untersuchenden Volumen bei konstanter voidfraction zu verstehen.

In Hinsicht auf die Verwendung der Sonden in Messkanälen zylindrischer Geometrie wurden 3 Sondentypen untersucht:

A) Spiralsonden, B) Schalensonden und C) Koaxialsonden.

Bei den Versuchen wurde der geeichte Leerraum durch Plexiglaskörper simuliert, der Vollraum wurde mit destilliertem Wasser gefüllt. Bei einigen Versuchen (Spiralsonden) wurde der Leerraum durch Luft dargestellt und der Vollraum durch Plexiglaskörper. Durch Auswiegen der den Voll- oder Leerraum simulierenden Festkörper kann eine genaue Voidfraction als Eichgrösse bestimmt werden, die den Wert

$$\beta_{0/0} = 100 \frac{V_L}{V_L + V_W} \quad (1)$$

hat.

Hierbei stellt V_L das Leerraumvolumen dar, V_W das Vollvolumen, und $V_L + V_W = V_T =$ Totalvolumen.

Bei allen Messungen wurden die Kondensatorarmaturen gegen das flüssige Medium und gegen die Rohrwand isoliert. Die Kapazitätsmessungen wurden mit einer kapazitiven Messbrücke durchgeführt; die Messfrequenz betrug 1kHz.

Durch kurze Zuleitungen von der Sonde zur Messbrücke wurde die Störkapazität möglichst klein gehalten (Zuleitungslänge = 10 cm). Ferner bildete die äussere, geerdete Rohrwand in allen Fällen eine elektrostatische Abschirmung, welche Ausseneinflüsse ausschliesst. In dem als Totalvolumen V_T definierten Raum ist die Isolationsschicht der Armaturen nicht einbegriffen. Unter diesen Umständen wurden die Versuche bei günstigsten Bedingungen durchgeführt; der Temperatureinfluss wurde ausgeschlossen und nicht untersucht.

Der Hauptzweck der Messungen war, den Kurvenverlauf der Kapazitätsänderung als Funktion der geeichten Voidfraction bei verschiedenen Formfaktoren mit verschiedenen Sondenarten zu ermitteln; der Ermittlung der absoluten Kapazität als Funktion der Sonden-geometrie und der Voidfraction wurde weniger Bedeutung zugemessen.

2. Formsimulierung

Es wurden für alle Mess-Sonden verschiedene Voidgeometrien simuliert:

- a) Plexiglashohlzylinder mit verschiedenem Innendurchmesser, mit Wasser gefüllt (oder Pertinaxvollzylinder mit verschiedenen Aussendurchmesser und Luftraum) simulieren einen von einer Dampfschicht umgebenen Wasserslug.
- b) Plexiglasvollzylinder verschiedener Aussendurchmesser, von Wasser umgeben (oder Pertinaxzylinder mit verschiedenen Innendurchmesser und Luftraum) simulieren einen von Wasser umgebenen Dampfslug.
- c) Progressives Einführen von Plexiglaszylindern in die mit Wasser gefüllte Sonde (oder Pertinaxzylinder in die leere Sonde) in axialer Richtung simulieren den Durchgang eines Dampf- oder Wasserpfropfens, welcher den ganzen Sondenquerschnitt ausfüllt.

- d) Bei den Versuchen mit der Spiralsonde stellt das Einführen von Pertinaxzylindern gleichen Durchmessers mit 2,3 oder 4 Bohrungen in axialer Richtung den gleichzeitigen Durchlauf von 2, 3 oder 4 langen Dampfblasen in axialer Richtung dar.
- e) Das Auffüllen dieser Sonde mit feinen Pertinaxteilchen simuliert ein homogenes Zwei-Phasengemisch. Sämtliche Eichkörper haben gleiche Länge.
- Der Vorteil dieser Voidsimulation /1/ gegenüber einer Messung im Wasserkreislauf unter Zuführung von Luftblasen, deren Totalvolumen über die zugeführte Luftmenge bestimmt wird, besteht darin, dass eine bestimmte, lokale und geeichte Voidgeometrie zeitlich festgelegt werden kann.

In den folgenden Formeln bezeichnet man mit "log" den natürlichen Log.

A) Die Koaxialsonde

a) Messung mit äusserem Wassermantel (Abb. 1)

Die Gesamtkapazität dieser Sonde errechnet sich durch die Serienschaltung von 4 konzentrisch angeordneten Zylinderkondensatoren:

$$\frac{1}{C} = \frac{\log \frac{R_2}{R_1}}{K\epsilon} + \frac{\log \frac{R_3}{R_2}}{K\epsilon_e} + \frac{\log \frac{R_4}{R_3}}{K\epsilon_w} + \frac{\log \frac{R_5}{R_4}}{K\epsilon} \quad (2)$$

$$\frac{1}{C} = \frac{\log \frac{R_2 R_5}{R_1 R_4}}{K\epsilon} + \frac{\log \frac{R_3}{R_2}}{K\epsilon_e} + \frac{\log \frac{R_4}{R_3}}{K\epsilon_w}$$

und da

$$\frac{\log \frac{R_2 R_5}{R_1 R_4}}{K\epsilon} = \text{konstant} = \frac{1}{A} \quad (3)$$

erhält man:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{A} + \frac{\epsilon_e \log \frac{R_4}{R_3} + \epsilon_w \log \frac{R_3}{R_2}}{K\epsilon_e \epsilon_w} \quad (4)$$

- C = Kapazität in pF
 K = $2\pi \cdot 8,86 \cdot 10^{-2} l$, l = Länge der Sonde in cm
 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 = Halbmesser der verschiedenen Schichten
 ϵ_e = Leerraumdielektrizitätskonstante (für Plexiglas, $\epsilon_e = 2,3$)
 ϵ_w = Vollraum (Wasser)-dielektrizitätskonstante (80 für Wasser)
 ϵ = Dielektrizitätskonstante der Isolationsschichten

Definiert man die Voidfraction

$$v = \frac{V_e}{V_T}, \quad \text{wobei} \quad \begin{array}{l} V_e = \text{Leervolumen} \\ V_T = \text{Totalvolumen} \end{array} \quad (5)$$

so ergibt sich

$$V_e = \pi(R_3^2 - R_2^2)l \quad (6) \quad V_T = \pi(R_4^2 - R_2^2)l \quad (7)$$

$$v = \frac{R_3^2 - R_2^2}{R_4^2 - R_2^2} \quad (8) \quad \frac{\left(\frac{R_3}{R_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{R_4}{R_2}\right)^2 - 1} \quad (9)$$

$$\frac{R_4}{R_2} = m \quad (10); \quad v = \frac{\left(\frac{R_3}{R_2}\right)^2 - 1}{m^2 - 1} \quad (11); \quad \frac{R_3}{R_2} = \sqrt{v(m^2 - 1) + 1} \quad (12)$$

ferner gilt:

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_4}{R_2} \cdot \frac{R_2}{R_3} = \frac{m}{\sqrt{v(m^2 - 1) + 1}} \quad (13)$$

demnach schreibt sich Gleichung (4) als Funktion der Voidfraction v:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{A} + \frac{\epsilon_e \log \frac{m}{\sqrt{v(m^2 - 1) + 1}} + \epsilon_w \log \sqrt{v(m^2 - 1) + 1}}{K \epsilon_e \epsilon_w} \quad (14)$$

und

$$C = \frac{K \epsilon_e \epsilon_w}{\epsilon_e \left[\frac{K \epsilon_w}{A} + \log m \right] + 0,5 \log [v(m^2 - 1) + 1] (\epsilon_w - \epsilon_e)} \quad (15)$$

Abb. 3 zeigt den berechneten Wert $\frac{\Delta C}{C} = f(v)$,

wobei

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{C - C_e}{C_w - C_e} \quad \begin{matrix} C_e = C_{v=1} \\ C_w = C_{v=0} \end{matrix} \quad (16)$$

Diese Werte wurden mit der auf Abb. 2 dargestellten Sonde berechnet und gemessen.

b) Messung mit innerem Wassermantel

Diese Anordnung entsteht, wenn sich auf Fig. 1 zwischen R_2 und R_3 Wasser (ϵ_w) befindet und zwischen R_4 und R_3 Plexiglas (ϵ_e).

Gleichung (8) schreibt sich nun:

$$v = \frac{R_4^2 - R_3^2}{R_4^2 - R_2^2} \quad \frac{R_3}{R_2} = \sqrt{m^2 - v(m^2 - 1)} \quad (17)$$

und man erhält:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{A} + \frac{\epsilon_e \log \sqrt{m^2 - v(m^2 - 1)} + \epsilon_w \log \frac{m}{\sqrt{m^2 - v(m^2 - 1)}}}{K \epsilon_e \epsilon_w} \quad (18)$$

und

$$C = \frac{K \epsilon_e \epsilon_w}{0,5 \log [m^2 - v(m^2 - 1)] (\epsilon_e - \epsilon_w) + \frac{K \epsilon_e \epsilon_w}{A} + \epsilon_w \log m} \quad (19)$$

Die durch Formel (19) berechneten und gemessenen Werte sind auf Abb. 3 aufgetragen. Beim progressiven Auffüllen der Sonde mit Wasser in axialer Richtung entsteht eine lineare Abhängigkeit zwischen C und v, da 1 die Veränderliche darstellt.

B) Die Schalensonde (Abb. 4)

a) Berechnung der Kapazität

Wir gehen von der Voraussetzung aus, dass die Elektrodenschalen als Plattenkondensator angesehen werden können.

Der Elementarplattenkondensator dC hat den Wert (Abb. 5):

$$(20) \quad dC = K \frac{dl}{2h} \quad \text{wobei} \quad K = \frac{\epsilon B}{4\pi} \quad (\text{CGS}) \quad (21)$$

Ferner gilt:

$$(22) \quad h = r \cos \varphi \quad ; \quad \frac{dh}{dl} = -\sin \varphi \quad (23) \quad ; \quad dl = -\frac{dh}{\sin \varphi} \quad (24)$$

$$dC = -\frac{K dh}{2h \sin \varphi}, \text{ ersetzt man } h \text{ durch seinen Wert } h = r \cos \varphi \text{ und } dh = -r \sin \varphi d\varphi$$

so ergibt sich für dC der Wert:

$$dC = K r \frac{\sin \varphi d\varphi}{2r \cos \varphi \sin \varphi} = \frac{K}{2} \frac{d\varphi}{\cos \varphi} \quad (25)$$

Durch Integration von $0 - \alpha$ erhält man den halben Wert von C

$$(26) \quad \frac{C}{2} = \frac{K}{2} \int_0^\alpha \frac{d\varphi}{\cos \varphi} = \frac{K}{4} \left[\log \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right]_0^\alpha \quad (27)$$

Die Gesamtkapazität ist demnach:

$$C = \frac{K}{2} \log \frac{1 + \sin \alpha}{1 - \sin \alpha} \quad (28)$$

Ist der von den Elektroden eingenommene Gesamtwinkel = β

$$\beta = 2 \alpha \quad (29)$$

so erhält man

$$C_m = \frac{\epsilon B}{8\pi} \log \frac{1 + \sin \beta/2}{1 - \sin \beta/2} \quad (30)$$

C ist demnach unabhängig von r

$$C = f(\beta) = K x \quad \text{wobei} \quad x = \log \frac{1 + \sin \beta/2}{1 - \sin \beta/2} \quad (31)$$

Abb. 6 stellt den Kapazitätsverlauf der Schalensonde als Funktion des Winkels φ dar. Diese Kurve zeigt, dass der Elektrodenwinkel φ bis ungefähr 100° einen fast linearen Anstieg der Kapazität gewährleistet.

b) Kapazitätsänderung beim Auffüllen eines Plattenkondensators mit 2 verschiedenen Dielektriken in senkrechter Richtung zum Feldlinienverlauf (Fig. 7a)

Bei progressiver Auffüllung in senkrechter Richtung zum Feldlinienverlauf E ergibt sich für die Gesamtkapazität C die Formel:

$$C = \frac{K_m}{h} (\epsilon_l l_l + \epsilon_w l_w) \quad (32)$$

K = dem Einheitssystem entsprechender Faktor.

Bezeichnet man das mit dem Dielektrikum ϵ_l gefüllte Volumen mit

$$L = l_l m h \quad (33)$$

und das mit der Substanz ϵ_w gefüllte Volumen mit

$$W = l_w m h \quad (34)$$

so gilt:

$$C = \frac{K}{h^2} [\epsilon_1 L + \epsilon_w W] \quad (35)$$

Diese Kapazität entspricht der eines Kondensators C_a mit einer äquivalenten Dielektrizitätskonstante ϵ_a

$$C_a = \frac{K m}{h} (l_1 + l_w) \epsilon_a = \frac{K}{h^2} (L + W) \epsilon_a \quad (36)$$

wobei sich für ϵ_a der Wert

$$\epsilon_a = \frac{\epsilon_1 L}{L+W} + \epsilon_w \frac{W}{L+W} \quad (37)$$

ergibt.

c) *Auffüllen des Plattenkondensators in Richtung der elektrischen Feldlinien (Abb. 7b)*

In diesem Falle berechnet sich die Gesamtkapazität C aus der Serienschaltung zweier Kondensatoren C_1 und C_2

$$(38) \quad C_1 = \frac{K S \epsilon_1}{h_1} \quad \text{und} \quad C_2 = \frac{K S \epsilon_w}{h_w} \quad (39)$$

$$S = m l, \quad \text{und} \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{K S \epsilon_w \epsilon_1}{\epsilon_1 h_w + \epsilon_w h_1} \quad (40)$$

Dieser Kondensator C kann auch als einziger Kondensator C_b , mit einem Dielektrikum ϵ_b angefüllt, betrachtet werden:

$$C_b = \frac{K S \epsilon_b}{h_1 + h_w} \quad (41)$$

Setzt man $C_b = C$, so erhält man für ϵ_b den Wert:

$$\epsilon_b = \frac{\epsilon_1 \epsilon_w (h_1 + h_w)}{\epsilon_1 h_w + \epsilon_w h_1} \quad (42)$$

Da ferner $m l h_1 = L$ (43) und $m l h_w = W$, (44), erhält man:

$$\epsilon_b = \frac{\epsilon_1 \epsilon_w (L+W)}{\epsilon_1 W + \epsilon_w L} \quad (45)$$

und

$$\epsilon_b = \frac{L}{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_w} W + L} \epsilon_1 + \frac{W}{\frac{\epsilon_w}{\epsilon_1} L + W} \epsilon_w \quad (46)$$

Abbildung 8 stellt den aus Gleichung (37) und (46) berechneten Verlauf der äquivalenten Dielektrizitätskonstante ϵ_a und ϵ_b als Funktion der Voidfraction für ein Wasser-Luftgemisch ($\epsilon_1 = 1$, $\epsilon_w = 80$) wobei

$$v\% = 100 \left(\frac{L}{L+W} \right) \quad (47)$$

Auf Abb. 9 sind die mit der Schalensonde erzielten Messergebnisse dargestellt. Besonders bemerkenswert sind die mit den Wasserhohlzylindern erzielten Messresultate. Man sieht, dass sich der Kapazitätswert bis zu sehr hohen Voidfraction-Werten fast nicht ändert, d.h. solange noch ein dünner Wasserfilm an der inneren Rohrwand besteht, schliessen sich die Feldlinien durch diesen Film. Es entsteht so eine beträchtliche Abweichung von den Resultaten, die mit anderen Voidgeometrien gemessen wurden.

C) Die Spiralsonde

Die in den USA entwickelte Spiralsonde /3/ hat den Vorteil, zu versuchen, die Voidfraction über die Länge und den Durchmesser zu mitteln. 2 Modelle wurden hergestellt und in Hinsicht auf den Formfaktor untersucht (Abb. 10 und 11).

Bei Modell I wurde der Vollraum mit Pertinaxkörpern simuliert, der Leerraum war mit Luft gefüllt. Für das Modell II wurden Wasser und Plexiglas verwendet; Abb. 12 und Abb. 13 stellen die Versuchsergebnisse dar.

Bemerkenswert ist die bei allen Versuchen auftretende Unempfindlichkeit der Sonden in einem weiten Bereich der Voidfraction bei der Hohlzylindergeometrie (Annularflow -Simulation) mit veränderlichem Innendurchmesser, d.h. solange in Elektrodennähe noch eine dünne Schicht des Mediums mit höherer Dielektrizitätskonstante besteht, ändert sich die Kapazität wenig, da die Feldlinien durch diese Schicht abgeleitet werden. Bei Wasser ist dieser Effekt weitaus deutlicher als bei der Anwendung von Pertinax ($\epsilon_w = 80$; $\epsilon_p = 2-3$). Abb. 13 zeigt demnach einen weitaus längeren horizontalen Verlauf der Kurve bis in den Bereich hoher Voidfraction-Werte als Abb. 12.

Die von der Herstellerfirma für diesen Sondentyp angegebene Formel für das äquivalente Dielektrikum des Zweiphasengemisches als Funktion der Voidfraction entspricht Formel (37), d.h. die Spiralsonde kann als Plattenkondensator angesehen werden und der Formfaktor als progressive Auffüllung in axialer Richtung ohne Restfilm an der Wand betrachtet werden, eine Annahme, die einen Sonderfall darstellt.

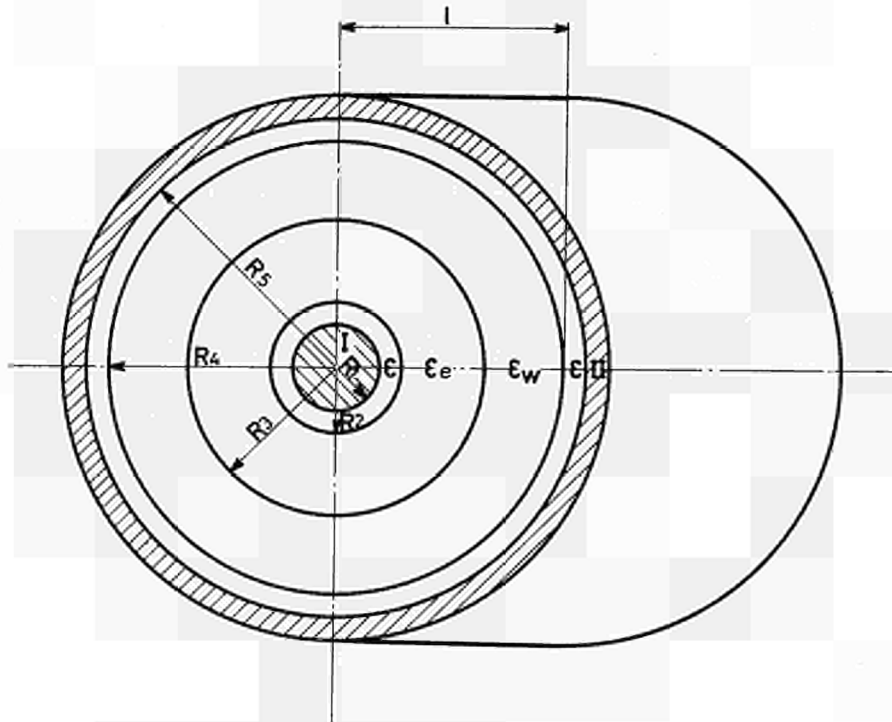
3. Zusammenfassung

Die Messresultate für alle untersuchten Sondentypen zeigen sehr grosse Abweichungen für die verschiedenen Formfaktoren. Sie sind unauswertbar, wenn ein Wasserfilm, welcher die Kondensatorarmaturen überdeckt, besteht. (Annular-flow beim Schalenkondensator und bei der Spiralsonde; beim Zylinderkondensator entsteht dieser Effekt, solange eine dünne Wasserbrücke zwischen Zentralelektrode und Aussenelektrode gebildet wird).

Beim Auffüllen in axialer Richtung sind alle Sonden linear. Da im allgemeinen der Formfaktor weitgehend unbekannt ist, kann diese Messmethode vor allem bei lokaler, dynamischer Messung nicht verwendet werden, da die transitorischen Voidgeometrien sehr verschieden sein können.

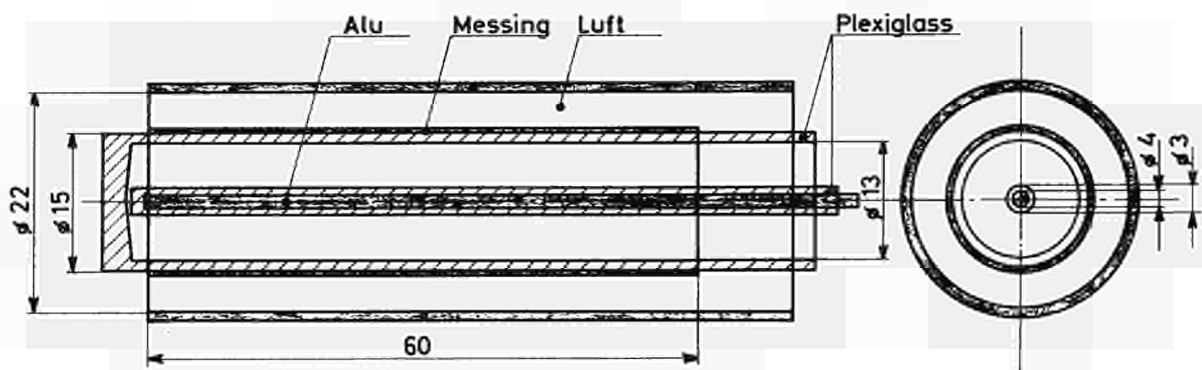
Literatur

- /1/ L. CIMORELLI and R. EVANGELISTI, The Application of the Capacitance Method for Void Fraction Measurement in Bulk Boiling Conditions
Int. J. Heat Mass Transfer 10 (1967)
- /2/ A. BERGLES, Electrical Probes for Study of Two Phase Flows
Massachusetts Institute of Technology (USA)
- /3/ IKOR Bulletin 200 V/L Meter Model IK 545, Burlington, Mass. (USA)



- R1 = Zentralelektrode (Metall) I
- R2-R1 = Isoliermantel (Dielektrizitätskonstante = ϵ)
- R3-R2 = Luftmantel (Dielektrizitätskonstante = ϵ_e)
- R4-R3 = Wassermantel (Dielektrizitätskonstante = ϵ_w)
- R5-R4 = Isoliermantel der Aussenelektrode II

Abb.1 – Koaxialsonde



Abmessungen:
Aussenarmatur : Wandstärke = 0,5 mm

Abb.2 Koaxialsonde

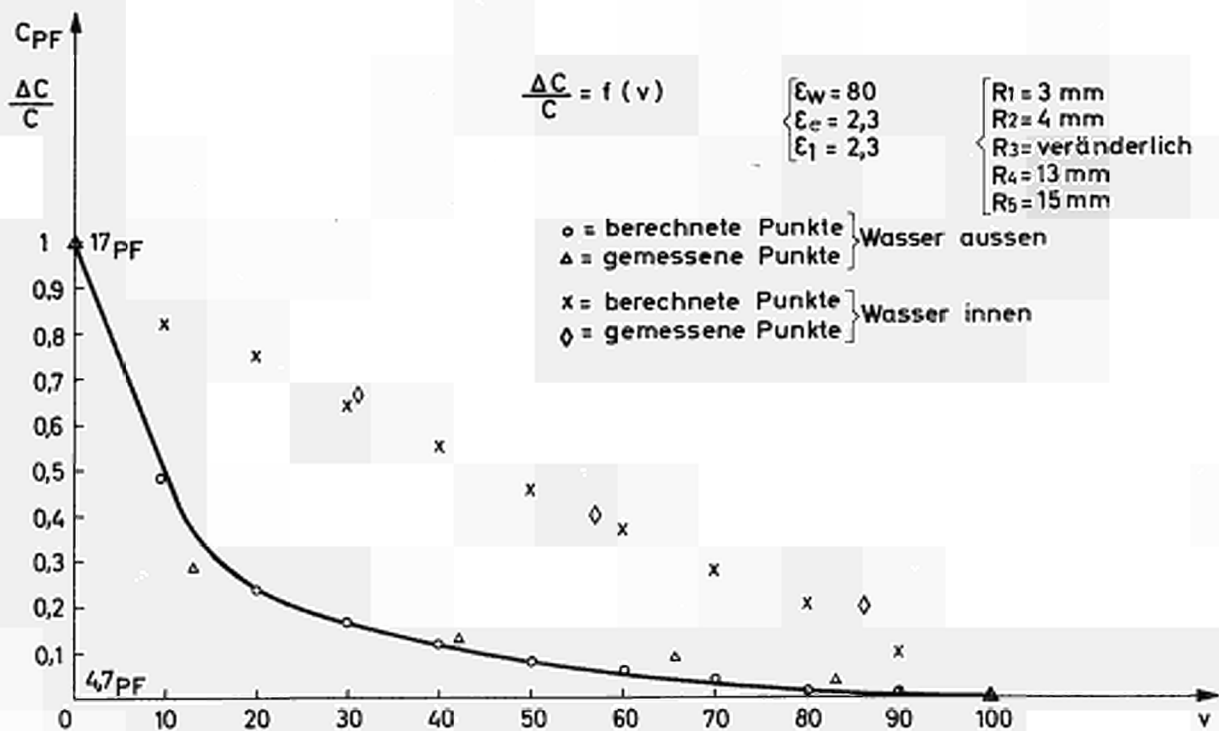
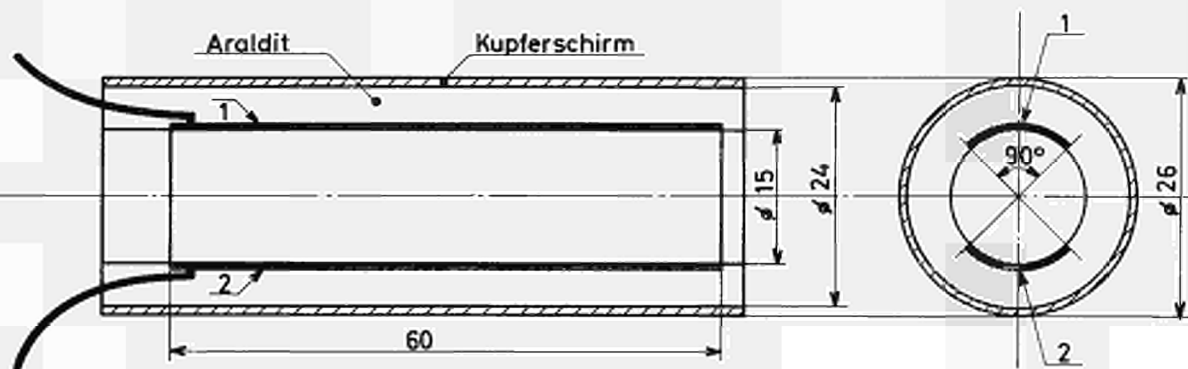


Abb.3 – Koaxialsonde (l=6 cm)

1-2 = Kondensatorarmaturen



Abmessungen:

Armaturen: Messing = 0,5 mm Wandstärke

Abb.4 – Schalensonde

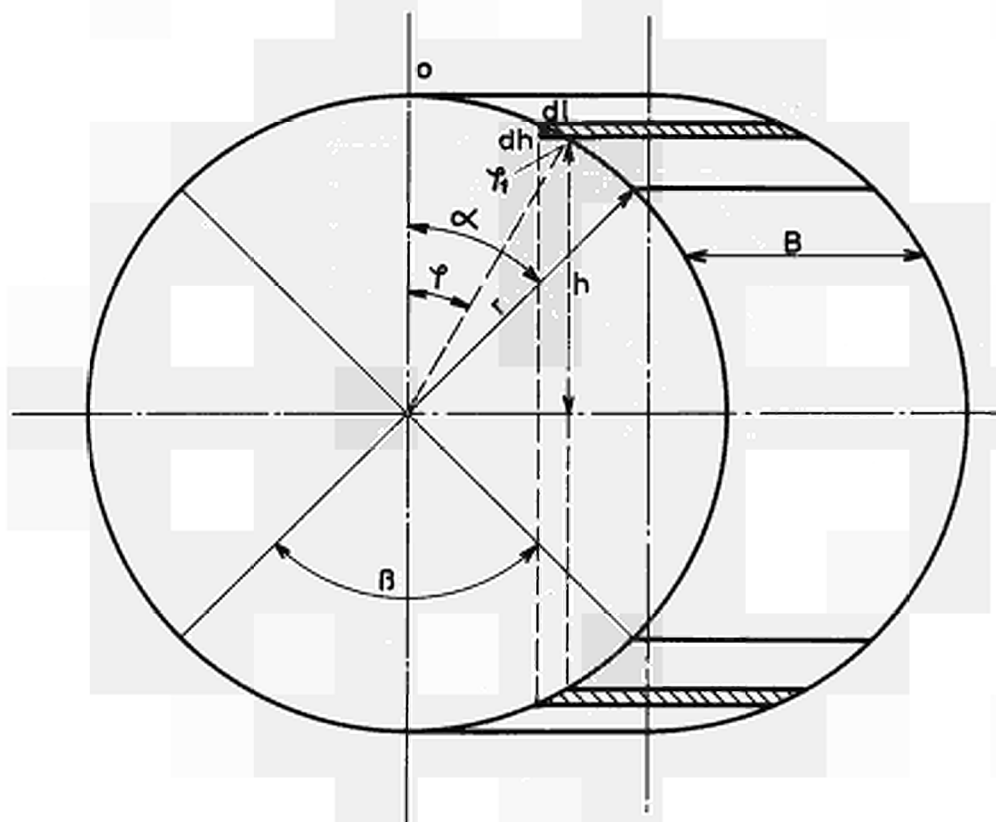


Abb. 5 – Schalensonde

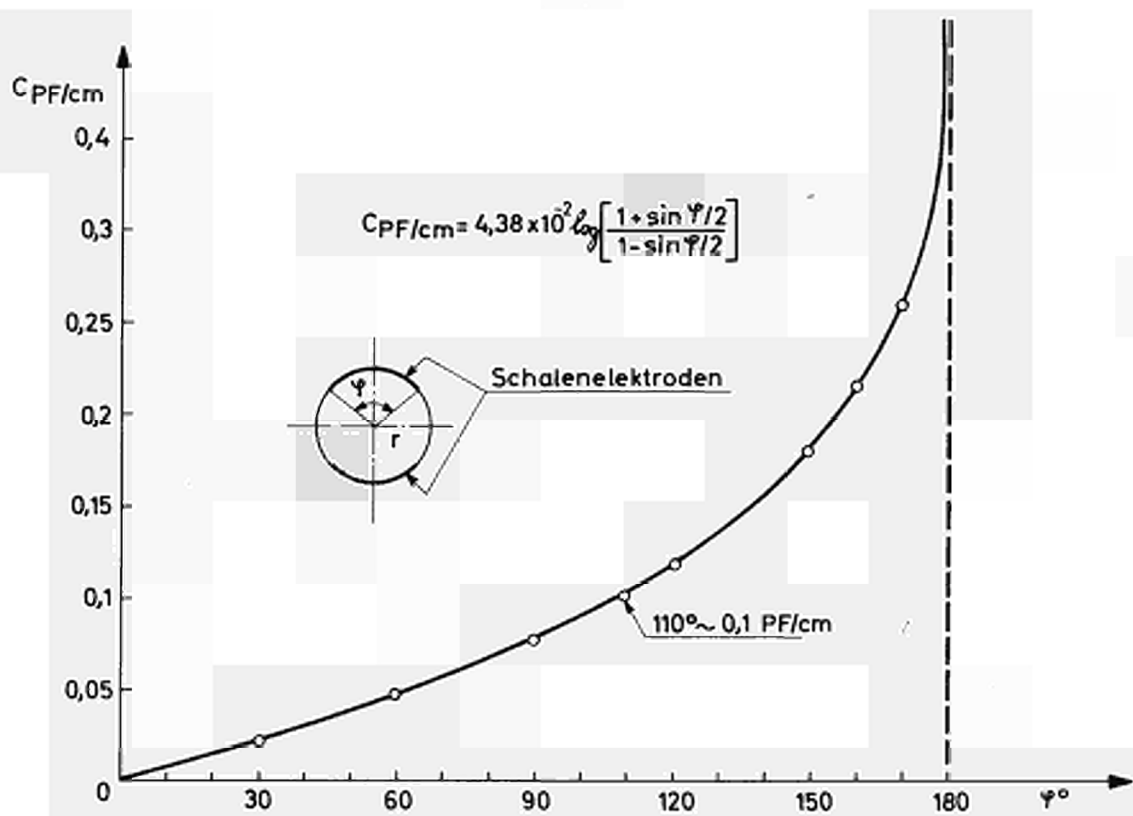


Abb. 6

Abb. 7 a

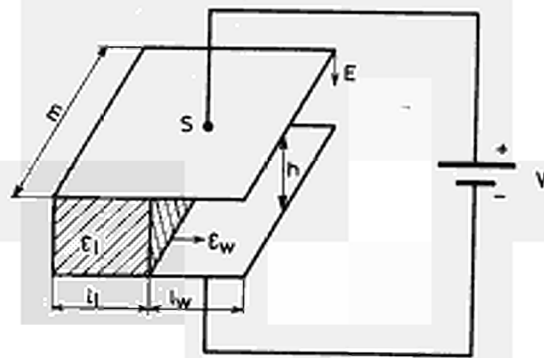


Abb. 7 b

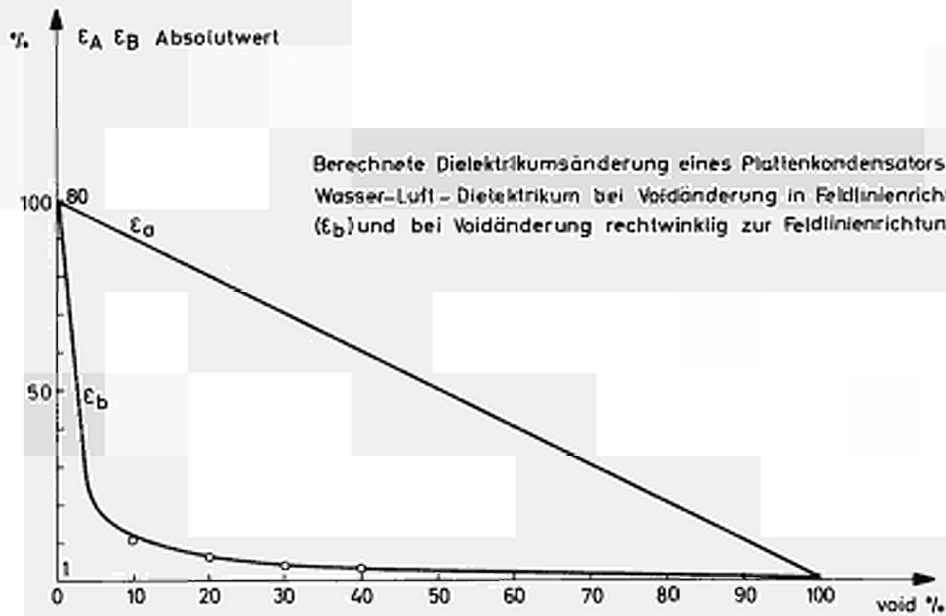
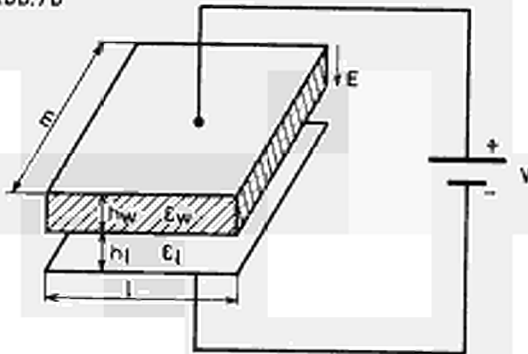


Abb. 8

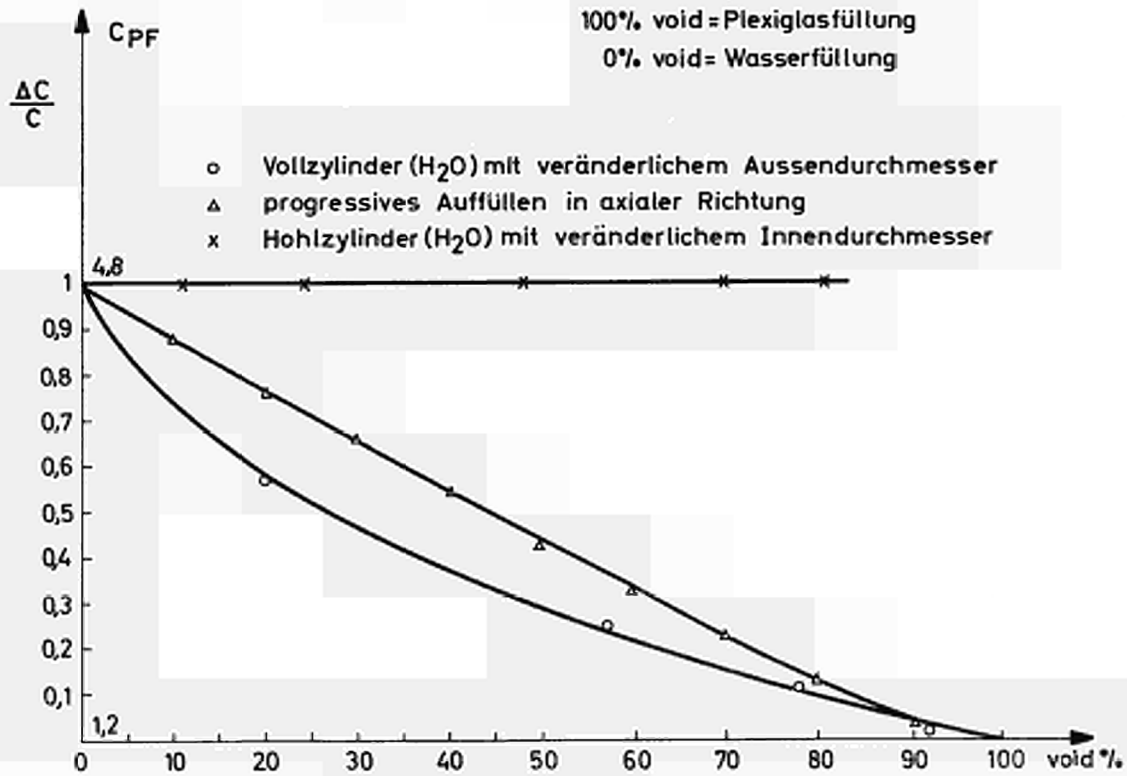
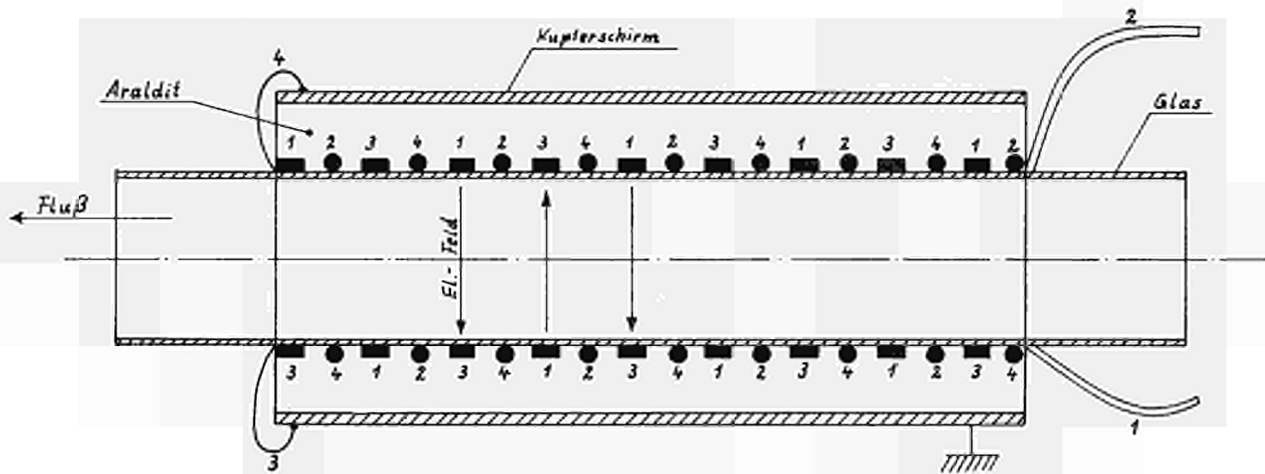


Abb. 9 – Schalensonde



1 - 3 = Kondensatorarmaturen
2, 4 = geerdete Schirmdrähte

Abmessungen:

Glas: $D_a = 17\text{ mm}$, $D_i = 15\text{ mm}$
Kupferschirm: $D_a = 32\text{ mm}$, Wandstärke = 1 mm,
aktive Länge = 60 mm

Armaturen: Kupferband $2,8 \times 0,3\text{ mm}$
Schirmdrähte: $D = 0,8\text{ mm}$ Runddraht
Windungszahl: 6
Armaturenabstand: $\sim 5\text{ mm}$

Abb. 10

Kapazitätsspiralsonde I

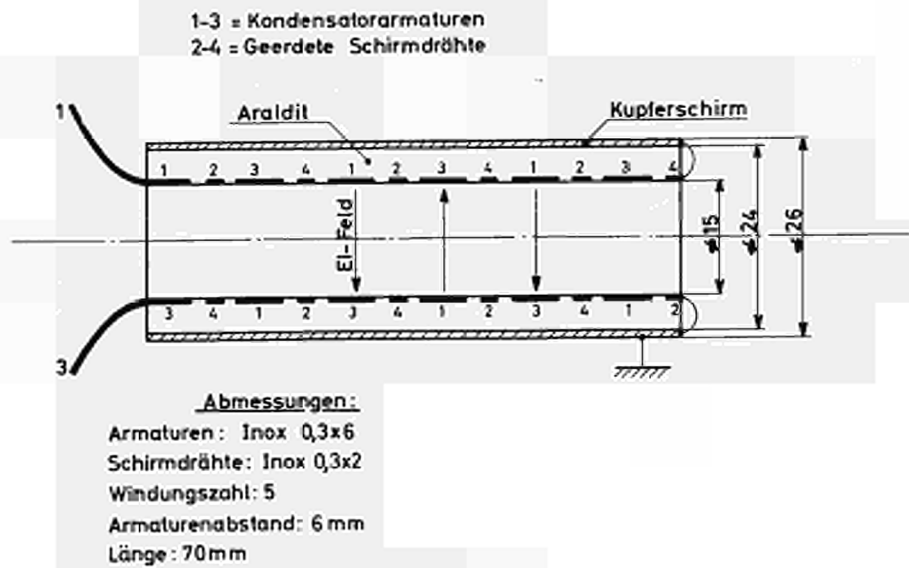
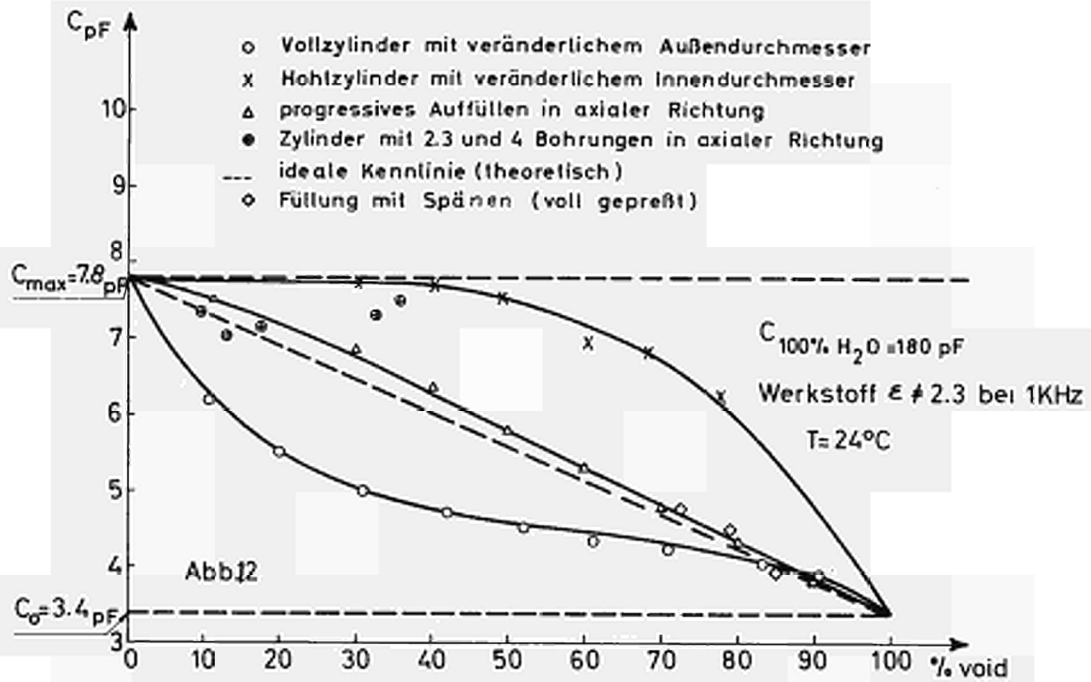


Abb.11 - Spiralsonde II



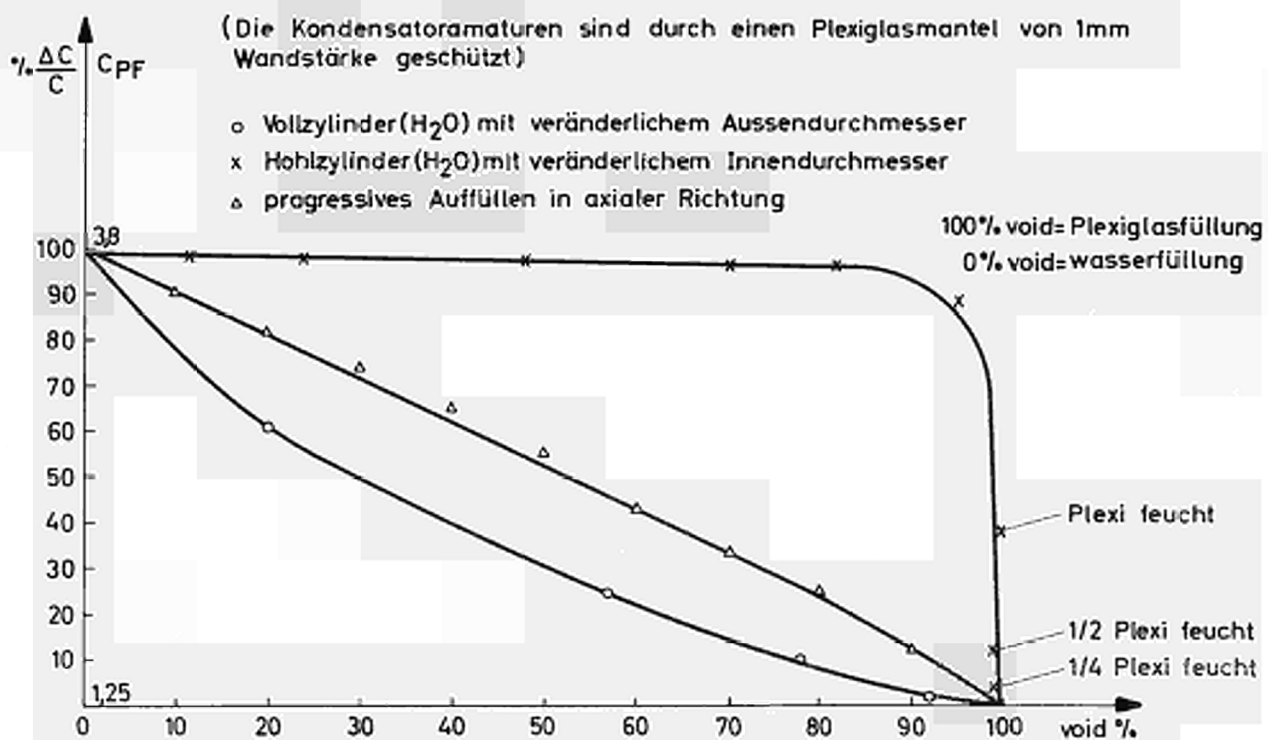
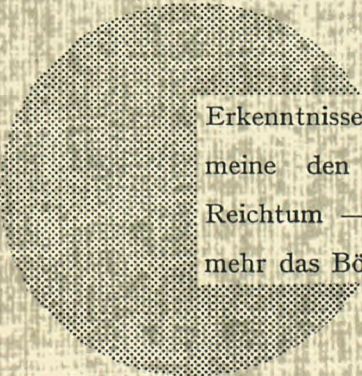


Abb.13 Spiral Sonde II (Dielektrikum Wasser-Plexi)

AN UNSERE LESER

Alle von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten wissenschaftlichen und technischen Berichte werden in der Monatszeitschrift „euro-abstracts“ angezeigt. Abonnement (1 Jahr: BF 1 025,—) und Probehefte sind erhältlich bei:

**Amt für amtliche Veröffentlichungen
der Europäischen Gemeinschaften
Case postale 1003
Luxembourg 1**



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum —, denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

VERTRIEBSSTELLEN

Alle von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Dokumente werden durch das Amt für amtliche Veröffentlichungen bei den unten angegebenen Anschriften zu dem auf dem Umschlag angegebenen Preis verkauft. Bei schriftlicher Bestellung bitte die genaue Referenz und den Titel des Dokumentes deutlich angeben.

DEUTSCHLAND (BR)

Verlag Bundesanzeiger
5 Köln 1 — Postfach 108 006
Tel. (0221) 21 03 48
Fernschreiber: Anzeiger Bonn 08 882 595
Postscheckkonto 834 00 Köln

BELGIEN

Moniteur belge — Belgisch Staatsblad
Rue de Louvain 40-42 — Leuvenseweg 40-42
1000 Bruxelles — 1000 Brussel — Tel. 12 00 26
CCP 50-80 — Postgiro 50-80

Nebenstelle:
Librairie européenne — Europese Boekhandel
Rue de la Loi 244 — Wetstraat 244
1040 Bruxelles — 1040 Brussel

DÄNEMARK

J.H. Schultz — Boghandel
Montergade 19
DK 1116 København K — Tel. 14 11 95

FRANKREICH

*Service de vente en France des publications
des Communautés européennes — Journal officiel*
26, rue Desaix — 75 732 Paris - Cédex 15^a
Tel. (1) 306 51 00 — CCP Paris 23-96

GROSSHERZOGTUM LUXEMBURG

*Amt für amtliche Veröffentlichungen
der Europäischen Gemeinschaften*
Case postale 1003 — Luxembourg
Tel. 4 79 41 — CCP 191-90
Compte courant bancaire: BIL 8-109/6003/200

IRLAND

Stationery Office — The Controller
Beggars Bush
Dublin 4 — Tel. 6 54 01

ITALIEN

Libreria dello Stato
Piazza G. Verdi 10
00198 Roma — Tel. (6) 85 08
CCP 1/2640

NIEDERLANDE

Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf
Christoffel Plantijnstraat
's-Gravenhage — Tel. (070) 81 45 11
Postgiro 42 53 00

VEREINIGTES KÖNIGREICH

H.M. Stationery Office
P.O. Box 569
London S.E. 1 — Tel. 01-928 69 77, ext. 365

VEREINIGTE STAATEN VON AMERIKA

European Community Information Service
2100 M Street, N.W.
Suite 707
Washington, D.C., 20 037 — Tel. 296 51 31

SCHWEIZ

Librairie Payot
6, rue Grenus
1211 Genève — Tel. 31 89 50
CCP 12-236 Genève

SCHWEDEN

Librairie C.E. Fritze
2, Fredsgatan
Stockholm 16
Post Giro 193, Bank Giro 73/4015

SPANIEN

Libreria Mundi-Prensa
Castello 37
Madrid 1 — Tel. 275 51 31

ANDERE LÄNDER

*Amt für amtliche Veröffentlichungen
der Europäischen Gemeinschaften*
Case postale 1003 — Luxembourg
Tel. 4 79 41 — CCP 191-90
Compte courant bancaire: BIL 8-109/6003/200