

Status und Ausbau des Störkörpermeßstandes der Mikrowellenarbeitsgruppe

Die folgenden Seiten enthalten die Folien des Vortrags "Status und Ausbau des Störkörpermeßstandes der Mikrowellenarbeitsgruppe"; gehalten im IAP-Winterseminar in Riezlern am 7.3.2001 von [Claudius Peschke](#). Die Seiten sind im GIF-Format mit 72 dpi oder im JPEG-Format gespeichert.

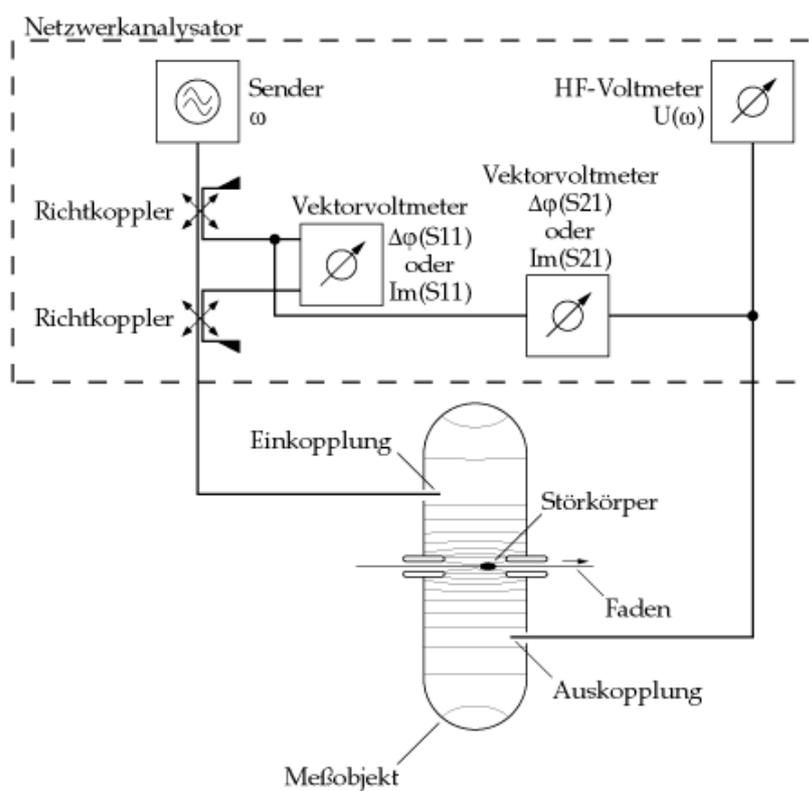
Status und Ausbau des Störkörpermeßstandes der Mikrowellenarbeitsgruppe

Claudius Peschke

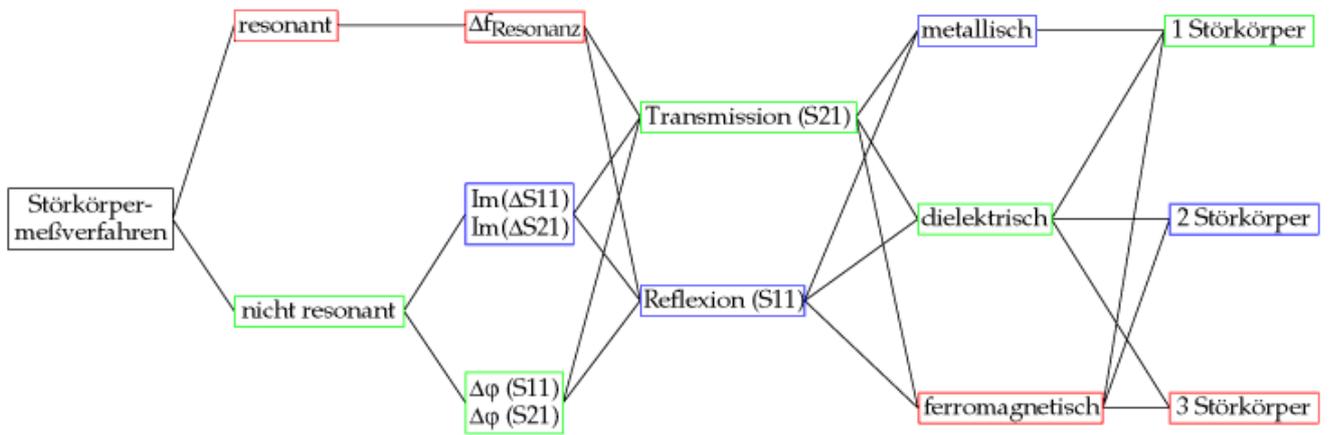
IAP-Winterseminar
Riezlern, 7. 3. 2001

Institut für Angewandte Physik
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
in Frankfurt am Main

Prinzip der Störkörpermessung



Störkörpermeßverfahren



- nicht vorgesehen
- vorgesehen aber noch nicht implementiert
- implementiert

Auswertung der Messungen

	normiertes elektrisches Feld bei Leerlaufgüte		+ Vorteile - Nachteile
	Transmission	Reflexion	
resonante Störkörper- messung $\Delta f_{\text{Resonanz}}$	$\frac{ \tilde{E}_0 }{\sqrt{P_V}} = \sqrt{\frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega} \cdot \frac{(1+k_1+k_2) \cdot Q_L}{\alpha \cdot \omega_0}}$	$\frac{ \tilde{E}_0 }{\sqrt{P_V}} = \sqrt{\frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega} \cdot \frac{(1+k_1) \cdot Q_L}{\alpha \cdot \omega_0}}$	<ul style="list-style-type: none"> - großer Störkörper erforderlich + $\Delta f \Rightarrow$ einfacher Meßaufbau - Koppelfaktoren benötigt (nicht für R_S/Q) - Einzelschrittbetrieb erforderlich
nicht resonante Störkörper- messung $\text{Im}(\Delta S_{nm})$	$\frac{ \tilde{E}_0 }{\sqrt{P_V}} = \frac{(1+k_1+k_2) \cdot \sqrt{ \Delta S_{21} }}{\sqrt{2 \cdot \alpha \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{k_1 k_2}}}$	$\frac{ \tilde{E}_0 }{\sqrt{P_V}} = \frac{(1+k) \cdot \sqrt{ \Delta S_{11} }}{\sqrt{2 \cdot \alpha \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{k}}}$	<ul style="list-style-type: none"> + kleiner Störkörper ausreichend - $\text{Im}(\Delta S_{nm}) \Rightarrow$ aufwendiges Meßgerät + geringeres Rauschen als bei $\Delta \varphi$ - Koppelfaktoren benötigt + kontinuierliches Durchfahren - bei $\text{Im}(\Delta S_{21})$: <ul style="list-style-type: none"> S_{21}-Kalibration erforderlich - Koppelfaktoren gehen stark in Gesamtfehler ein $\Rightarrow k$ groß
nicht resonante Störkörper- messung $\Delta \varphi(S_{nm})$	$\frac{ \tilde{E}_0 }{\sqrt{P_V}} = \sqrt{\frac{(1+k_1+k_2) \cdot \tan(\varphi)}{\omega_0 \cdot \alpha}}$	$\frac{ \tilde{E}_0 }{\sqrt{P_V}} = \sqrt{\frac{(1+k) \cdot \tan(\varphi)}{\omega_0 \cdot \alpha}}$	<ul style="list-style-type: none"> + kleiner Störkörper ausreichend - $\Delta \varphi \Rightarrow$ aufwendiges Meßgerät - größeres Rauschen als bei $\text{Im}(\Delta S_{nm})$ - Koppelfaktoren benötigt (nicht für R_S/Q) + kontinuierliches Durchfahren

ellipsoide dielektrische Störkörper

resonante Störkörpertheorie:
$$\frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega^2} = \frac{\iiint_{V_s} \vec{E}_0^* \cdot \vec{P} \, dV}{2W}$$

beliebig geformten linear dielektrischen Störkörpern:

$$\vec{P} = (\epsilon - \epsilon_0) \cdot \vec{E} = (\epsilon - \epsilon_0) \cdot \vec{A} \cdot \vec{E}_0$$

$$\Rightarrow \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega^2} = \frac{(\epsilon - \epsilon_0) \iiint_{V_s} \vec{E}_0^* \cdot \vec{A} \cdot \vec{E}_0 \, dV}{2W}$$

Beschränkung auf achsenparallele Ellipsoide:

$$\vec{A} = \mathbf{R}^{-1} \cdot \vec{\tilde{A}} \cdot \mathbf{R} \quad \vec{\tilde{A}} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix}$$

$$A_{11} = \frac{1}{1 + \frac{(\epsilon - \epsilon_0)}{\epsilon_0} \cdot L_a} \quad \text{mit} \quad L_a = \frac{abc}{2} \int_0^\infty \frac{1}{(a^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} d\lambda$$

$$A_{22} = \frac{1}{1 + \frac{(\epsilon - \epsilon_0)}{\epsilon_0} \cdot L_b} \quad \text{mit} \quad L_b = \frac{abc}{2} \int_0^\infty \frac{1}{(b^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} d\lambda$$

$$A_{33} = \frac{1}{1 + \frac{(\epsilon - \epsilon_0)}{\epsilon_0} \cdot L_c} \quad \text{mit} \quad L_c = \frac{abc}{2} \int_0^\infty \frac{1}{(c^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} d\lambda$$

Störkörpereigenschaften zu formalen Vektor zusammenfassen:

$$\frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega^2} = \vec{\alpha} \frac{1}{W} \begin{pmatrix} E_{0,x}^2 \\ E_{0,y}^2 \\ E_{0,z}^2 \end{pmatrix} \quad \text{mit} \quad \vec{\alpha} = \frac{V_s}{2} \cdot (\epsilon - \epsilon_0) \cdot \begin{pmatrix} A_{11} \\ A_{22} \\ A_{33} \end{pmatrix} = \frac{2\pi}{3} \cdot abc \cdot (\epsilon_r - 1) \cdot \epsilon_0 \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{1 + (\epsilon_r - 1) \cdot L_a} \\ \frac{1}{1 + (\epsilon_r - 1) \cdot L_b} \\ \frac{1}{1 + (\epsilon_r - 1) \cdot L_c} \end{pmatrix}$$

kreiszyklindrische dielektrische Störkörper

Beschränkung auf rotationssymmetrische ($b=c$), achsenparallele ($R = I$) Ellipsoide:

$$\vec{\omega}^\circ = X \cdot \frac{1}{W} \cdot \vec{E}^\circ \quad \text{mit} \quad \vec{\omega}^\circ = \begin{pmatrix} \left(\frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega^2} \right)_1 \\ \left(\frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega^2} \right)_2 \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} \alpha_1^{\perp 1} & \alpha_1^{\perp 2} \\ \alpha_2^{\perp 1} & \alpha_2^{\perp 2} \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \vec{E}^\circ = \begin{pmatrix} E^{\perp 1} \\ E^{\perp 2} \end{pmatrix}$$

Die elliptischen Integrale sind dann geschlossen lösbar:

$$L_a = \frac{\beta^2}{2\sqrt{1-\beta^2}^3} \left(\ln \left(\frac{1+\sqrt{1-\beta^2}}{1-\sqrt{1-\beta^2}} \right) - 2\sqrt{1-\beta^2} \right) \quad \text{und}$$

$$L_b = \frac{\beta^2}{2\sqrt{1-\beta^2}^3} \left(\frac{1}{\beta^2} \sqrt{1-\beta^2} - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+\sqrt{1-\beta^2}}{1-\sqrt{1-\beta^2}} \right) \right) \quad \text{mit} \quad \beta = \frac{b}{a}$$

resonante 2-Störkörpermethode:

$$\frac{|E_0^{\perp 1}|}{\sqrt{P_V}} = \sqrt{\left(X^{-1} \cdot \frac{1}{Q} \cdot \vec{\omega}^\circ \right)^{\perp 1}} \quad \text{und} \quad \frac{|E_0^{\perp 2}|}{\sqrt{P_V}} = \sqrt{\left(X^{-1} \cdot \frac{1}{Q} \cdot \vec{\omega}^\circ \right)^{\perp 2}}$$

nicht resonante 2-Störkörpermethode mit $\text{Im}(\Delta S_{21})$:

$$\frac{|E_0^{\perp 1}|}{\sqrt{P_V}} = \frac{1+k_1+k_2}{\sqrt{2 \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{k_1 k_2}}} \cdot \sqrt{\left(X^{-1} \cdot \Delta \vec{S}_{21}^\circ \right)^{\perp 1}} \quad \text{und} \quad \frac{|E_0^{\perp 2}|}{\sqrt{P_V}} = \frac{1+k_1+k_2}{\sqrt{2 \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{k_1 k_2}}} \cdot \sqrt{\left(X^{-1} \cdot \Delta \vec{S}_{21}^\circ \right)^{\perp 2}}$$

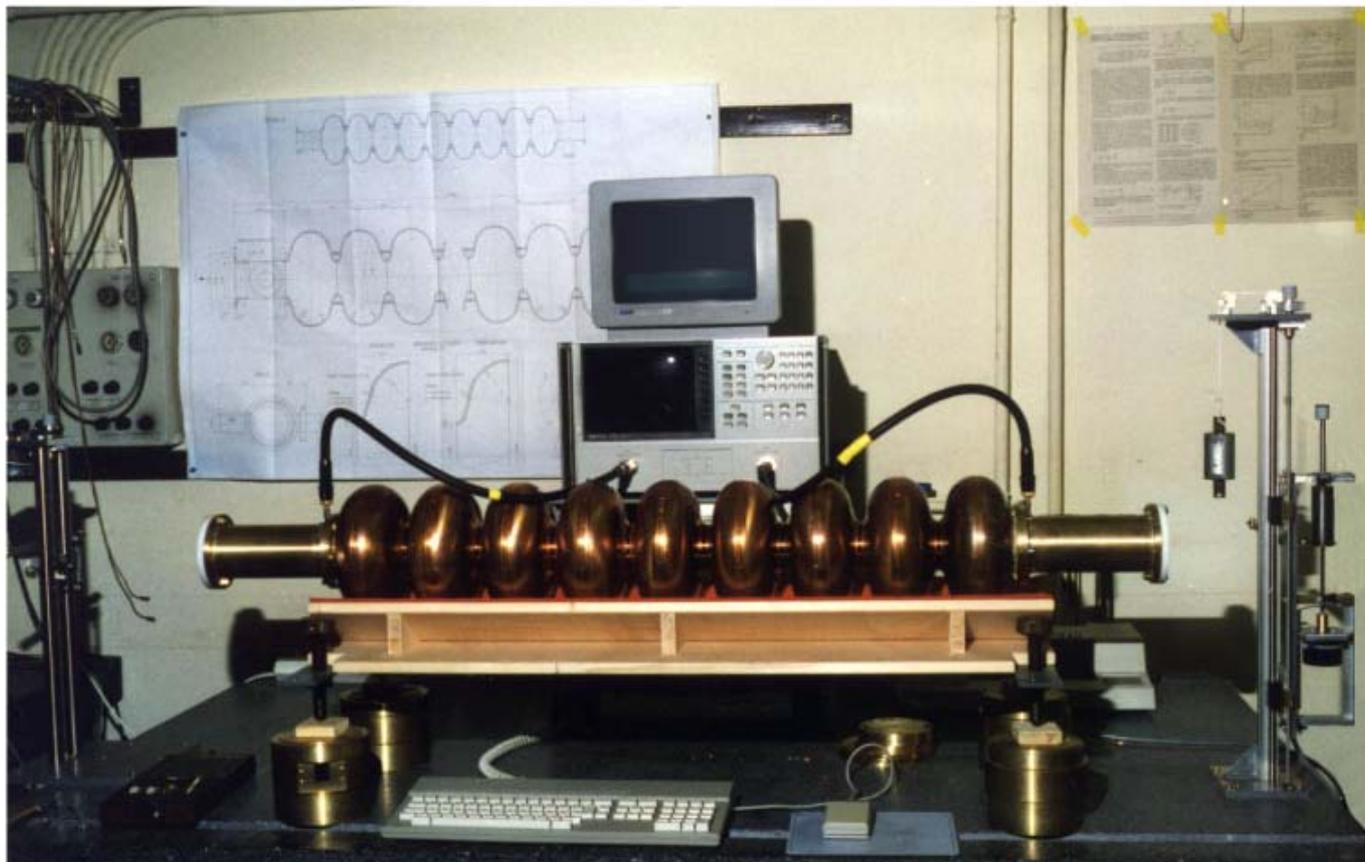
$$\text{mit} \quad \Delta \vec{S}_{21}^\circ = \begin{pmatrix} |\Delta S_{21}|_1 \\ |\Delta S_{21}|_2 \end{pmatrix}$$

nicht resonante 2-Störkörpermethode mit $\Delta \varphi(S_{21})$:

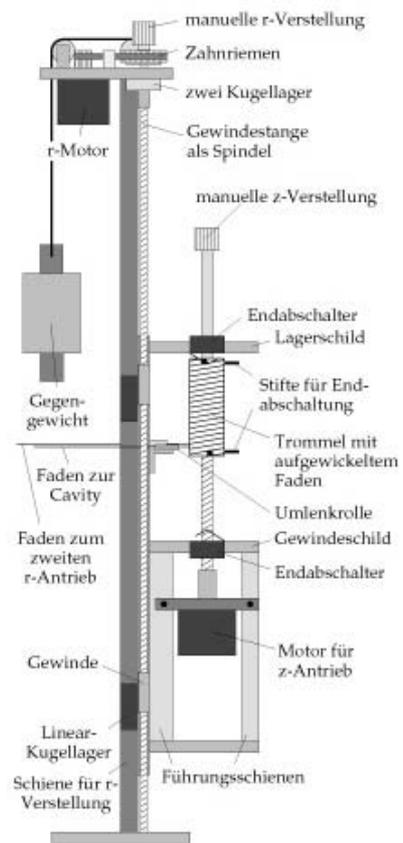
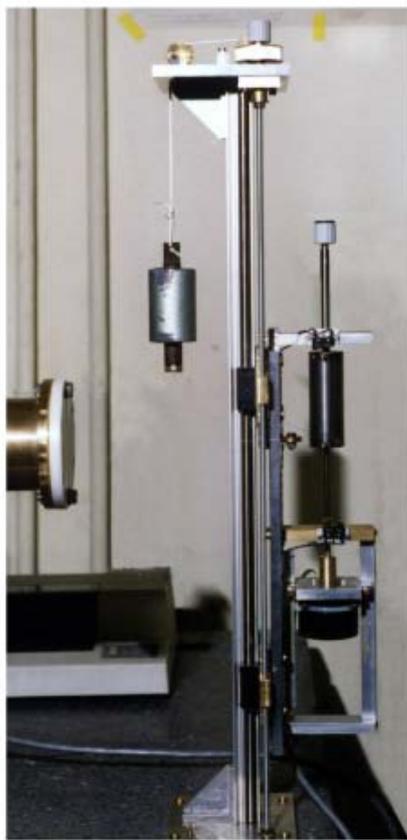
$$\frac{|E_0^{\perp 1}|}{\sqrt{P_V}} = \sqrt{\frac{1+k_1+k_2}{\omega_0}} \cdot \sqrt{\left(X^{-1} \cdot \overrightarrow{\tan \Delta \varphi}^\circ \right)^{\perp 1}} \quad \text{und} \quad \frac{|E_0^{\perp 2}|}{\sqrt{P_V}} = \sqrt{\frac{1+k_1+k_2}{\omega_0}} \cdot \sqrt{\left(X^{-1} \cdot \overrightarrow{\tan \Delta \varphi}^\circ \right)^{\perp 2}}$$

$$\text{mit} \quad \overrightarrow{\tan \Delta \varphi}^\circ = \begin{pmatrix} \tan(\Delta \varphi_1) \\ \tan(\Delta \varphi_2) \end{pmatrix}$$

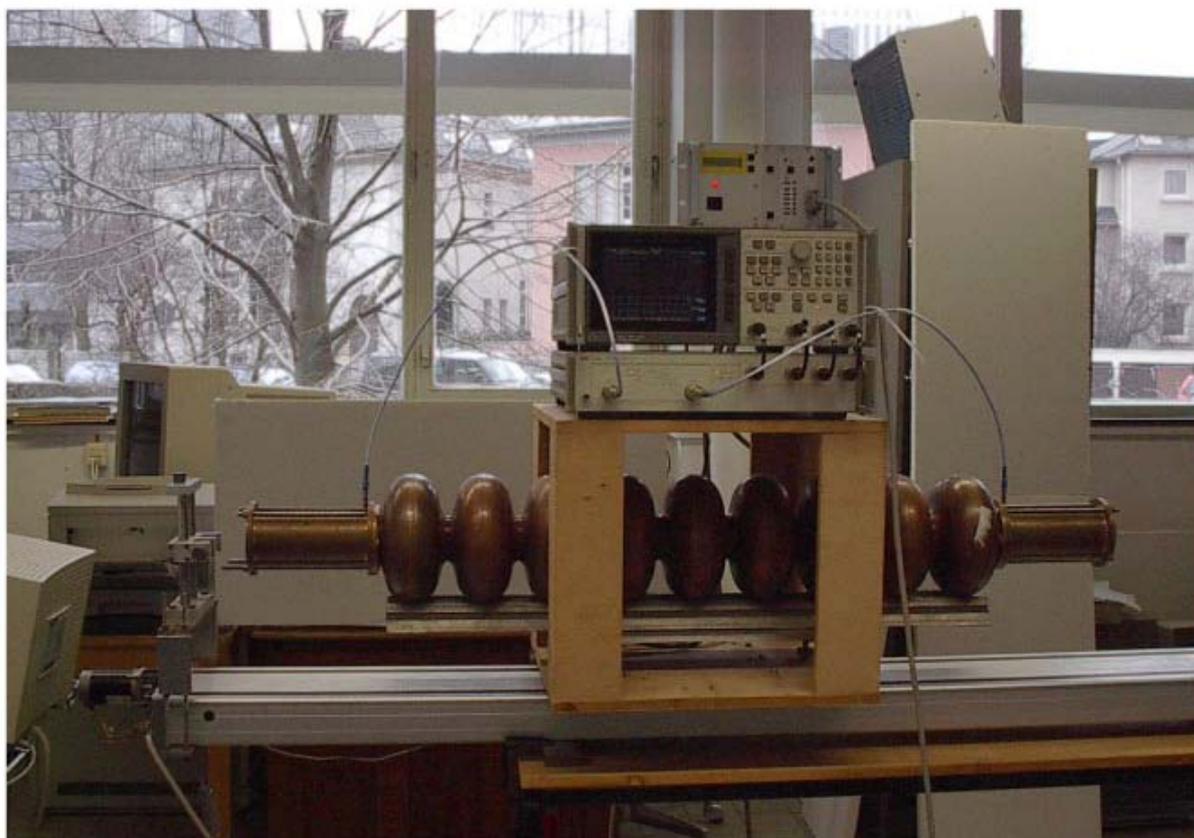
Störkörpermeßstand mit bewegtem Störkörper



Antrieb des Störkörpermeßstandes

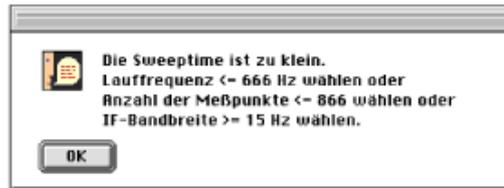


Störkörpermeßstand mit bewegtem Meßobjekt



Programmablauf

- Eingetragene Parameter (Verfahrenweg, Anzahl der Meßpunkte, Sweep-Zeit) prüfen und ggf. Änderungsvorschläge machen



- Anzahl der Meßpunkte für den CW-Timesweep des Netzwerkanalysators und daraus resultierende Sweep-Zeit berechnen

- Fenster für Statusmeldungen über den Ablauf der Messung erzeugen

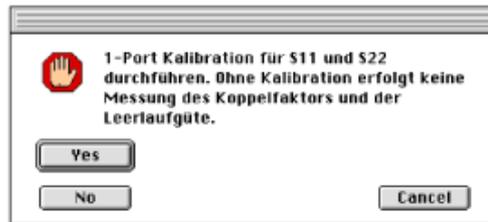


- Grundeinstellungen, Center-Frequenz und Span des Netzwerkanalysators setzen

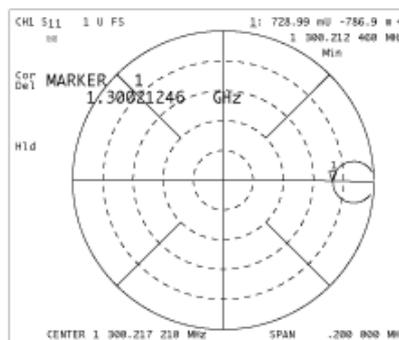
- Grundeinstellungen, Center-Frequenz und Span des Netzwerkanalysators setzen

- Falls gewünscht: automatische Suche des Frequenzbereichs (Resonanz in der Mitte und -3dB-Punkte innerhalb) durch Iteration

- Gegebenenfalls Kalibration durchführen lassen



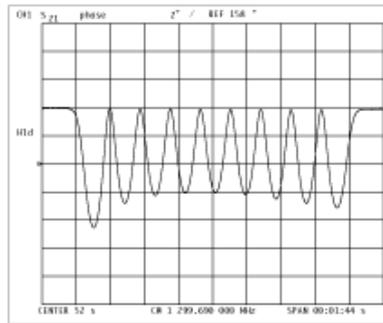
- Falls kalibriert: S11 und S22 messen, Koeffizienten berechnen



- Resonanzfrequenz und belastete Güte messen

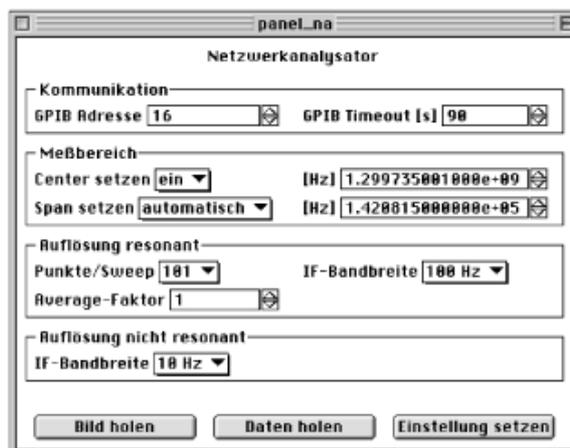
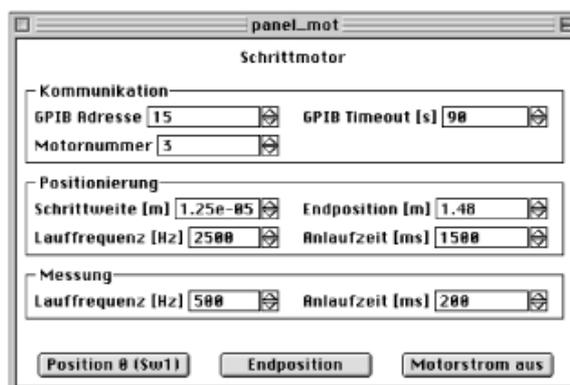
Programmablauf

- Schrittmotorsteuerung initialisieren und Referenzposition (Lichtschranke) finden
- Störkörper bzw. Meßobjekt auf Anfangsposition fahren
- Motor und Netzwerkanalysator gleichzeitig starten →
- Warten bis Schrittmotor an Endposition, Schrittmotor auf Referenzposition fahren
- Warten bis Sweep beendet
- Ergebnis vom Netzwerkanalysator auslesen, dabei Phasendifferenz berechnen und Phasensprünge beseitigen
- normiertes E-Feld und Shuntimpedanz berechnen und anzeigen
- Warten bis Schrittmotor an Referenzposition
- Netzwerkanalysator freigeben
- Statusfenster durch Meßparameter und Ergebnisse ersetzen →

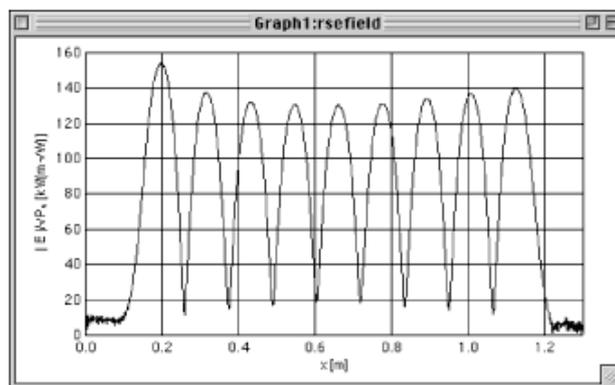
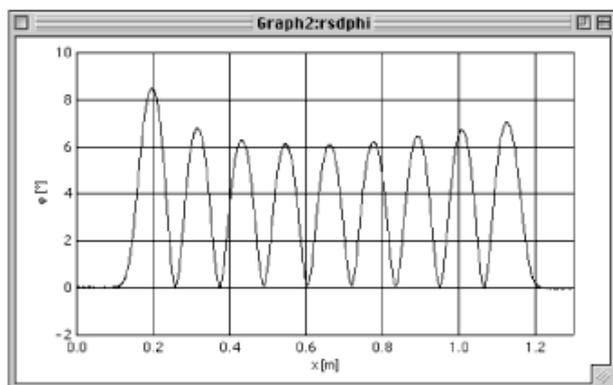
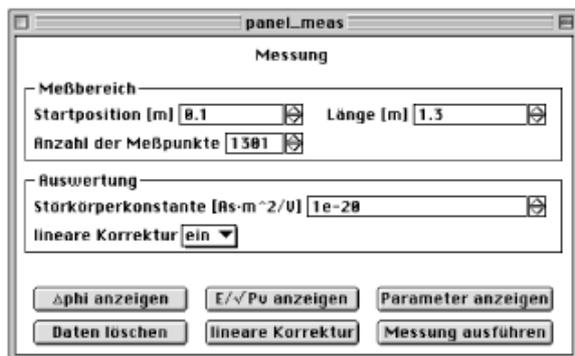


Parameter und Meßergebnisse	
Parameter:	
Meßbereichsmitte:	1.29974e+09 Hz
Meßbereichsbreite:	142082 Hz
Punkte/Sweep resonant:	101
IF-Bandbreite resonant:	100 Hz
Average-Faktor resonant:	1
IF-Bandbreite nicht resonant:	10
Anfangsposition:	0 m
Länge:	1.3 m
Anzahl der Meßpunkte:	1301
Störkörperkonstante:	1e-20
lineare Korrektur:	ein
Meßergebnisse:	
Resonanzfrequenz:	1.29973e+09
Leerlaufgüte:	31136.6
Lastgüte:	15096.8
Kopplfaktor1:	0.550
Kopplfaktor2:	0.513
Shuntimpedanz Rs' bei Q0:	1.0855e+10 Ω
normierte Shuntimpedanz Rs'/Q:	3.4862e+05 Ω

Bildschirmfotos vom Störkörpermeßprogramm



Bildschirmfotos vom Störkörpermeßprogramm



Zusammenfassung

Meßmöglichkeiten mit dem Störkörpermeßstand:

- Messung mit bewegtem Störkörper oder Meßobjekt möglich
- Phasenmessung mit einem Störkörper implementiert
Phasen- und ΔS_{21} -Messung mit einem oder zwei Störkörpern vorgesehen
- weitgehend automatisierte Messung,
Profilmessung bei bewegtem Störkörper vorgesehen

- Frequenzbereich: 300 kHz (HP 8753C) bis 20 GHz (HP 8720 A)
- Verfahrweg: 6 m (bei bewegtem Störkörper)
2 m (bei bewegtem Meßobjekt)
- Ortsauflösung: durch Störkörperlänge begrenzt
(Schrittweite 12,5 μm bei bewegtem Meßobjekt)
- nötige Phasenverschiebung: $\approx 5^\circ$ ohne und $\approx 0,5^\circ$ mit Mittelung (vorgesehen)

Noch zu tun:

- Phasenmessung mit zwei und ΔS_{21} -Messung
mit einem oder zwei Störkörpern implementieren
- Messungen in Reflexion implementieren
- Mittelung über mehrere Meßdurchgänge implementieren
- Auswertung für metallische Störkörper implementieren
- internen Programmaufbau übersichtlicher machen
und Objekte besser kapseln
- Eichresonatoren für andere Frequenzbereiche fertigen ?
- weitere Ideen der Seminarteilnehmer einbauen ?