

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 75 (1984)

**Heft:** 21

**Artikel:** Fehlerabschätzung bei Dämpfungsmessungen

**Autor:** Heierli, J.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-904500>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Fehlerabschätzung bei Dämpfungsmessungen

J. Heierli

Es werden die Fehlerquellen bei allgemeinen Dämpfungsmessungen aufgeführt, ohne im Detail auf die Ursachen einzugehen.

Anschliessend werden die Grössen der verschiedenen Fehler für einige gebräuchliche Messgeräte gezeigt und die maximal möglichen Messfehler abhängig von der Messgrösse im Frequenzbereich 0,1 bis 18 GHz bestimmt.

Une énumération des sources d'erreurs lors de mesures d'affaiblissement est donnée, sans toutefois mentionner les causes. Ensuite l'ampleur des diverses erreurs est indiquée pour quelques appareils de mesure usuels et les erreurs maximales sont déterminées en fonction de la grandeur de mesure dans le domaine des fréquences de 0,1 à 18 GHz.

## 1. Dämpfungsmessung

Die heutigen Messgeräte der Mikrowellentechnik machen die Dämpfungsmessung sehr einfach. Man darf aber daraus nicht schliessen, dass damit auch die Messgenauigkeit zugenommen hat.

Die einfachste Messschaltung für die Dämpfungsmessung besteht aus einem Generator, dem Messobjekt und dem eigentlichen Messgerät, z.B. einem Leistungsmessgerät (Powermeter). Die Figur 1 zeigt, wie diese für Eichung und Messung zusammenschaltet werden. Die Fehler, die bei diesen Messungen auftreten, setzen sich aus *Anpass-* und *Instrumentenfehlern* zusammen.

## 2. Anpassfehler

Der Anpassfehler setzt sich aus der Überlagerung der Fehlanpassungen an den Grenzen zwischen Generator, Messobjekt und Messgerät zusammen. Eine genaue Beschreibung der Anpassfehler findet sich in [1]. Dort wird gezeigt, dass mit reflexionsarmen Abschwächern der Messfehler auf ein erträgliches Minimum reduziert werden kann. Dabei wird jedoch der Messbereich des Messsystems um den Dämpfungsbetrag der Abschwächer verkleinert.

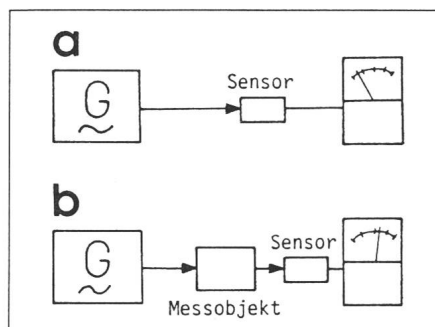


Fig. 1 Dämpfungsmessung

a Eichung  
b Messung

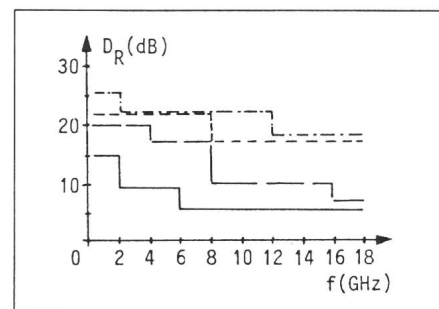


Fig. 2 Rückflussdämpfung verschiedener Geräte

$D_R$  Rückflussdämpfung = Reflexion bei Anschluss an 50- $\Omega$ -System  
 $f$  Frequenz  
--- Leistungsmessgerät HP 8481  
--- Detektor Wiltron 5600  
--- Detektor HP 8755  
--- Vektor-Netzwerkanalysator 8410

nert. Die Figur 2 zeigt die 50- $\Omega$ -Anpassung (Rückflussdämpfung) von Detektoren oder Sensoren verschiedener Messgeräte.

## 3. Instrumentenfehler

Der gesamte Instrumentenfehler setzt sich aus den folgenden Teilfehlern zusammen:

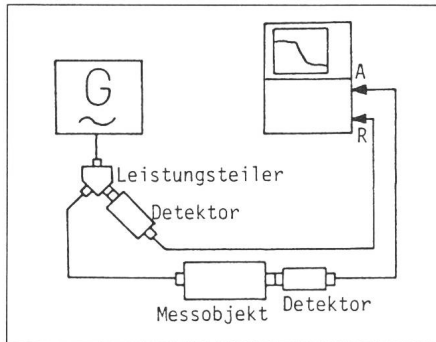
- der Leistungs- und Frequenzinstabilität,
- der Abweichung der Detektor- und Verstärker-Übertragungsfunktion vom idealen Logarithmus (Systemfehler),
- den harmonischen Effekten des Generators (Harmonischenfehler),
- dem Ablesefehler,
- der Reproduzierbarkeit der Steckkontakte.

Diese Teilfehler werden im folgenden etwas eingehender untersucht.

1. Die Messfehler, welche von der Instabilität der Ausgangsleistung des Generators herrühren, können durch eine Verhältnismessung eliminiert

### Adresse des Autors

Jakob Heierli, El.-Ing. HTL, Huber + Suhner AG, 9100 Herisau.



**Fig. 3 Dämpfungsmessung mit Referenzsignal**  
 G Generator  
 A Signaleingang  
 R Referenzeingang

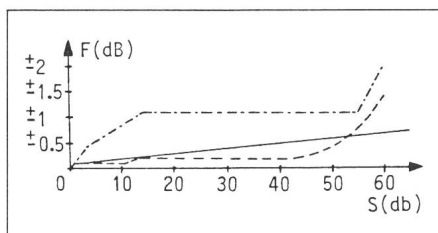
werden. Die Fig. 3 zeigt die Messanordnung. Infolge der breitbandigen Messanordnung kann die Frequenzinstabilität vernachlässigt werden.

2. Die Abweichung des Detektors und Verstärkers von der idealen logarithmischen Übertragungsfunktion (Systemfehler) ist die eigentliche Gerätegenauigkeit. Sie bestimmt zu einem grossen Prozentsatz die Messgenauigkeit. Die Fig. 4 zeigt den Fehler von skalaren und vektoriellen Netzwerkanalysatoren in Abhängigkeit von der Messgrösse.

Weit grössere Genauigkeit weisen die modernen Powermeter auf, wie die aus [2] stammenden Werte der Tabelle I zeigen. Die Genauigkeit ist dabei abhängig vom verwendeten Sensor.

In den Spezifikationen der Messgeräte ist meist auch ein Frequenzgang angegeben. Dieser ist für unsere Betrachtung nicht wichtig, da er durch die Eichung eliminiert wird.

3. Die Einflüsse der Harmonischen und Nichtharmonischen des Generators sind bei der Verwendung von skalaren Netzwerkanalysatoren und Leistungsmessgeräten von grosser Wich-



**Fig. 4 Systemfehler**  
 Abweichung von der logarithmischen Übertragungsfunktion  
 F Relativer Fehler  
 S Messgrösse, bezogen auf Referenz  
 — Skalar-Netzwerkanalysator HP 8755  
 - - - Skalar-Netzwerkanalysator Wilttron 5600  
 - . - Vektor-Netzwerkanalysator HP 8410

*Abweichung von der logarithmischen Übertragungsfunktion*

Tabelle I

Hersteller	Modell	Genauigkeit	Bereich
Hewlett Packard	436	+/- 0,02 dB	-70 ... +44 dBm
Hewlett Packard	438	+/- 0,02 dB	-70 ... +44 dBm
Marconi	6960	+/- 0,05 dB	-45 ... +35 dBm

tigkeit. Die Fehlergrösse, abhängig vom Amplitudenabstand der Harmonischen gegenüber der Nutzfrequenz (Harmonischenabstand, engl. harmonic level), ist in [3] beschrieben.

Einige typische Harmonischenabstände von Generatoren sind in Tabelle II festgehalten. Harmonische mit einem Abstand von 25 dB ergeben je nach Messgrösse einen Messfehler von 0,3 bis 0,7 dB. Solche mit 40 dB Abstand einen Messfehler von 0,05 bis 0,1 dB.

4. Ablesefehler sind im wesentlichen abhängig von der Sorgfalt des Ablesens. Beim manuellen Ablesen eines Strahls auf der Oszillographenröhre dürften Genauigkeiten von 0,03 dB bis 0,2 dB erreichbar sein. Wird der Messwert digital angezeigt oder mit einem Rechner digital ausgelesen, so kann mit einem maximalen Fehler von 0,01 dB gerechnet werden.

5. Die Grössenordnung der Reproduzierbarkeit der Steckung ist in Tabelle III angegeben. Diese Werte sind erreichbar bei sorgfältiger Ausführung und bei Anwendung des richtigen Anzugsdrehmomentes. In [4] werden noch wesentlich kleinere Toleranzen angegeben. Die Fremdverschmutzung oder Verletzung der Kontaktflächen hat wesentlichen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Steckung.

*Harmonischenabstände*

Tabelle II

Hersteller	Modell	Harmonischenabstand
Hewlett Packard	86 290	25 dB
Hewlett Packard	83 592	25 dB
Wilttron	6 647	40 dB
Hewlett Packard	83 592c	55 dB

*Reproduzierbarkeit der Steckung*

Tabelle III

Steckertyp	Toleranz	empf. Drehmoment
PC-7	+/- 0,02 dB	200 Ncm
N	+/- 0,03 dB	-
SMA	+/- 0,05 dB	100 Ncm
PC-3,5	+/- 0,03 dB	100 Ncm

## 4. Resultierender Messfehler

Die Tabelle IV zeigt zusammenfassend die maximal möglichen Fehler für drei verschiedene Messgrössen bei den vier verschiedenen Messsystemen:

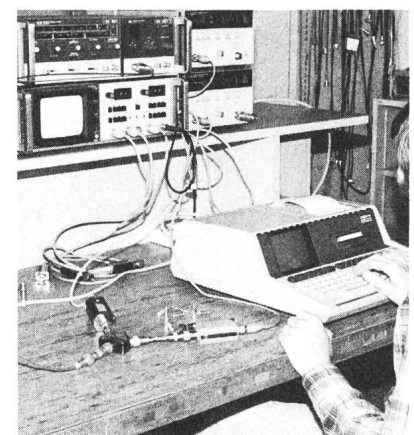
- Skalar Network-Analyzer HP 8755
- Skalar Network-Analyzer Wilttron 5600
- Vektor Network-Analyzer HP 8410
- Powermeter HP 436 mit Wilttron Wobbelgenerator 6647

Es wird dabei vorausgesetzt, dass der totale Anpassfehler überall 0,043 dB beträgt, eine Verhältnismessung gemacht wird (auch mit den Powermetern), die Ablesung digital geschieht und N-Stecker verwendet werden.

Die Tabelle zeigt, dass mit dem Vektor-Netzwerkanalysator und mit den Leistungsmessgeräten relativ hohe Genauigkeiten erreicht werden. Beim Vektor-Analyzer ist dies darauf zurückzuführen, dass die Harmonischen des Generatorsignals nicht mitgemessen werden, bei den Leistungsmessgeräten auf die inhärente hohe Gerätegenauigkeit.

## 5. Schlussbemerkung

Das Powermeter-Messsystem hat sich nach eigener Erfahrung des Autors in der Qualitätskontrolle von breitbandigen Serieprodukten, wie z.B. Dämpfungsgliedern, sehr bewährt (Fig. 5). Für die Prüfung von frequenz-



**Fig. 5 Leistungsmessgerät**

Messsystem	Skalar-Netzwerkanalysator HP 8755			Skalar-Netzwerkanalysator Wilton 5600			Vektor-Netzwerkanalysator HP 8410			Leistungsmessgerät HP 436		
Messgrößen, bezogen auf Referenz	1	5	30	1	5	30	1	5	30	1	5	30
- Anpassfehler <sup>1)</sup>	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
- Instrumentenfehler												
1. Leistungstabilität (Verhältnismessung)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Systemfehler	0,1	0,6	1,10	0,1	0,15	0,4	0,05	0,1	0,2	0,02	0,02	0,02
3. Harmonischenfehler	0,7	0,5	0,3	0,1	0,1	0,05	-	-	-	0,1	0,1	0,05
4. Ablesefehler (digital)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5. Steckerreproduzierbarkeit	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Total möglicher Fehler	±0,85	±1,0	±1,5	±0,3	±0,35	±0,55	±0,14	±0,2	±0,3	±0,22	±0,22	±0,15

<sup>1)</sup> Generator- und Detektoranpassung:  $D_R = 32$  dB  
 Messobjektanpassung:  $D_R = 20$  dB  
 $D_R$  = Rückflussdämpfung



Fig. 6 Vektor-Netzwerkanalysator

selektiven Bauelementen wie z.B. von Filtern muss jedoch ein frequenzselektives Messsystem wie der Vektor-Netzwerkanalysator verwendet werden (Fig. 6), weil die Einflüsse der Harmonischen des Generators bei solchen Bauelementen noch wesentlich grössere Auswirkungen zeigen.

Für die Zukunft ist abzusehen, dass sich auch in der Mikrowellentechnik die rechnergesteuerten Systeme durchsetzen werden; dann wird auch der Weg zum fehlererkennenden und -korrigierenden System nicht mehr allzuweit sein. Die hohen Anschaffungskosten solcher Systeme werden aber den

einfachen Messgeräten auch in Zukunft noch Anwendungsmöglichkeiten offen lassen, so dass man sich noch längere Zeit mit Fragen der Messgenauigkeit auseinandersetzen wird.

#### Literatur

- [1] B. Eicher und J. Furrer: Untersuchung der Fehlereinflüsse bei Dämpfungsmessungen im Frequenzgebiet 1...18 GHz. Techn. Mitt. PTT 53(1975)9, S. 324...329.
- [2] J. Browne: RF power meters: Measurement workhorses. Microwaves and RF 23(1984)1, p. 65...70, 92+143.
- [3] E. Daw: An easy-to-follow method for determining the accuracy of microwave attenuation, gain and insertion loss measurements. Wiltron Technical Review-(1983)13, p. 1...16.
- [4] D. Bergfried and H. Fischer: Insertion-loss repeatability versus life of some coaxial connectors. IEEE Trans. IM 19(1970)4, p. 349...359.