
Aufbau von faserbasierten Interferometern für die Quantenkryptografie

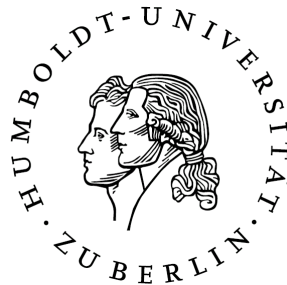
- Gehäuse, Phasenstabilisierung, Fasereinbau -

Masterarbeit
im Studiengang Elektrotechnik und
Informationstechnik
Vertiefungsrichtung Photonik

an der



in Kooperation mit der



vorgelegt von

Björnstjerne Zindler

geboren am 13. November 1966 in Görlitz

eingereicht am 21. November 2011

Erstgutachter: Herr Professor Dr. A. Richter
Zweitgutachter: Herr Professor Dr. O. Benson

Meiner Mutter gewidmet

*03. Juli 1940

+22. September 2010

Erläuterung zum Thema Messfehler bei der Berechnung der Visibilität

- Konditionen:

Es wird folgende Berechnungsgrundlage der Visibilität „V“ genutzt:

$$V = 2 \frac{\sigma}{\mu}$$

Desweiteren wird angenommen, diese Berechnungsgrundlage wird bei der Time-Bin- Konfiguration genutzt:

$$MAX = a + b + a \quad MIN = a + 0 + a$$

- Ansatz:

Betrachtet soll nicht der zufällige Fehler, sondern der systematische, speziell der Messfehler, welcher selbst von der Wertgröße von „a“ oder „b“ abhängt. Dann ergibt sich folgender erweiterter Ausdruck:

$$MAX = (a \pm F \cdot a) + (b \pm F \cdot b) + (a \pm F \cdot a) \quad MIN = (a \pm F \cdot a) + 0 + (a \pm F \cdot a)$$

⇒

$$MAX = (2a + b) \cdot (1 \pm F) \quad MIN = 2a \cdot (1 \pm F)$$

Die Visibilität „V“ wird berechnet:

$$V = \frac{b \cdot (1 \pm F)}{(4a + b) \cdot (1 \pm F)}$$

⇒

$$V = \frac{b}{4a + b}$$

Die errechnete Visibilität ist erwartungsgemäß fehlerfrei.

Weiterhin soll angenommen werden, dass gilt:

$$-b < F < +b \quad -a < F < +a$$

Ansonsten, wäre der wahre Messwert kleiner als der Fehler und so in vornherein unbrauchbar.

- Ergebnis:

Der Messwertdurchschnitt „ μ “ ist definiert als:

$$\frac{MAX + MIN}{2} = \mu = (4a + b) \cdot (1 \pm F)$$

\Rightarrow

$$\pm F = \frac{\mu}{4a + b} - 1$$

Den Wert „ b “ erhalten wir aus „ σ “:

$$\frac{MAX - MIN}{2} = b \cdot (1 \pm F) = \sigma$$

\Rightarrow

$$b = \frac{\sigma}{1 \pm F}$$

Eingesetzt ergibt sich:

$$\pm F = \frac{\mu - \sigma}{4a} - 1$$

Da der Wert „ a “ aus dem fehlerfreien „ V “ stammt, hat es für die Standard- Time-Bin- Konfiguration den Wert „1“.

$$a = 1$$

\Rightarrow

$$\pm F = \frac{\mu - \sigma}{4} - 1$$

\Rightarrow

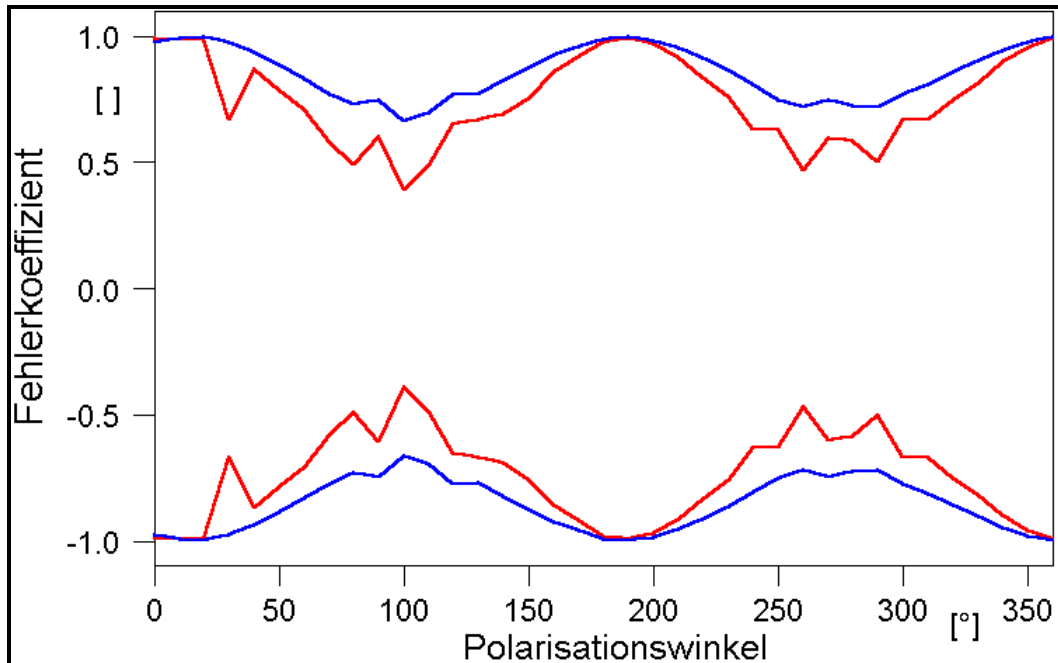
$$-1 < F < +1$$

- Wertermittlung:

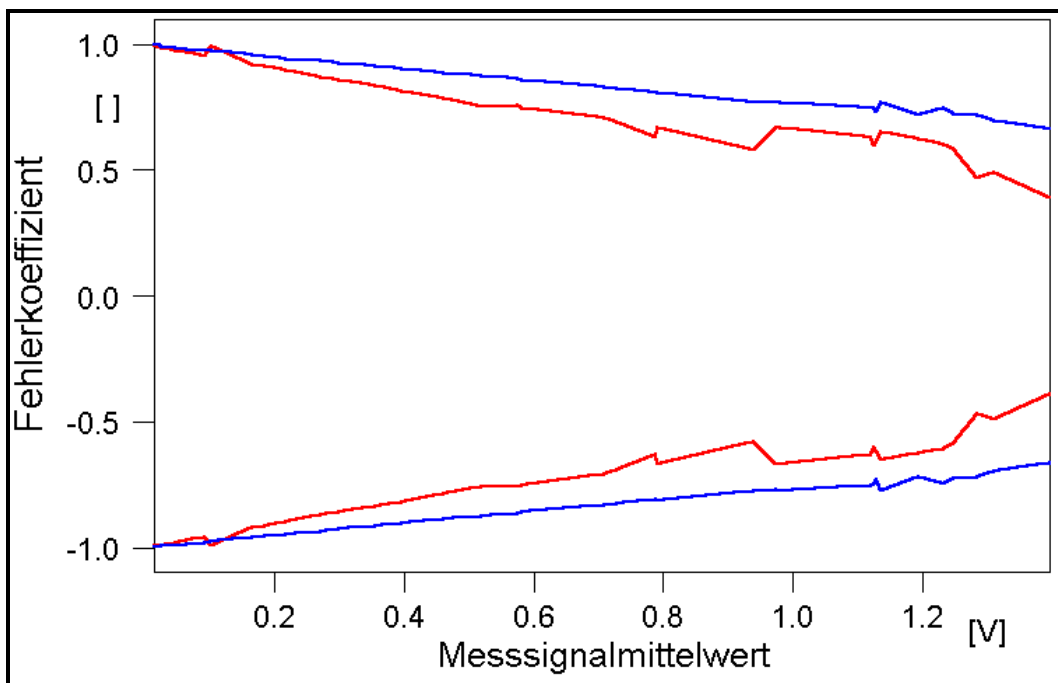
Werte aus „Polarisation versus Visibilität“:

#	DEG°	V	σ	μ	F
1	0/360	0,083	0,003	0,103	$\pm 0,975$
2	10	0,120	0,001	0,025	$\pm 0,994$
3	20	0,136	0,001	0,022	$\pm 0,997$
4	30	0,060	0,003	0,101	$\pm 0,976$
5	40	0,059	0,006	0,271	$\pm 0,934$
6	50	0,053	0,008	0,461	$\pm 0,888$
7	60	0,171	0,035	0,709	$\pm 0,832$
8	70	0,125	0,036	0,939	$\pm 0,774$
9	80	0,113	0,048	1,129	$\pm 0,730$
10	90	0,358	0,228	1,233	$\pm 0,749$
11	100	0,116	0,044	1,397	$\pm 0,662$
12	110	0,209	0,100	1,312	$\pm 0,697$
13	120	0,381	0,231	1,136	$\pm 0,774$
14	130	0,298	0,059	0,974	$\pm 0,771$
15	140	0,195	0,032	0,729	$\pm 0,826$
16	150	0,076	0,016	0,519	$\pm 0,874$
17	160	0,066	0,007	0,299	$\pm 0,927$
18	170	0,060	0,004	0,165	$\pm 0,960$
19	180	0,075	0,001	0,046	$\pm 0,989$
20	190	0,149	0,001	0,014	$\pm 0,997$
21	200	0,063	0,002	0,063	$\pm 0,985$
22	210	0,065	0,004	0,184	$\pm 0,955$
23	220	0,068	0,009	0,354	$\pm 0,914$
24	230	0,161	0,035	0,574	$\pm 0,865$
25	240	0,075	0,019	0,788	$\pm 0,808$
26	250	0,302	0,122	1,120	$\pm 0,751$
27	260	0,191	0,152	1,285	$\pm 0,717$
28	270	0,266	0,120	1,125	$\pm 0,749$
29	280	0,326	0,156	1,248	$\pm 0,727$
30	290	0,174	0,077	1,194	$\pm 0,721$
31	300	0,275	0,070	0,980	$\pm 0,773$
32	310	0,154	0,035	0,792	$\pm 0,811$
33	320	0,156	0,030	0,581	$\pm 0,862$
34	330	0,080	0,012	0,396	$\pm 0,904$
35	340	0,056	0,005	0,216	$\pm 0,947$
36	350	0,065	0,002	0,092	$\pm 0,978$
37	360/0	0,083	0,001	0,018	$\pm 0,998$

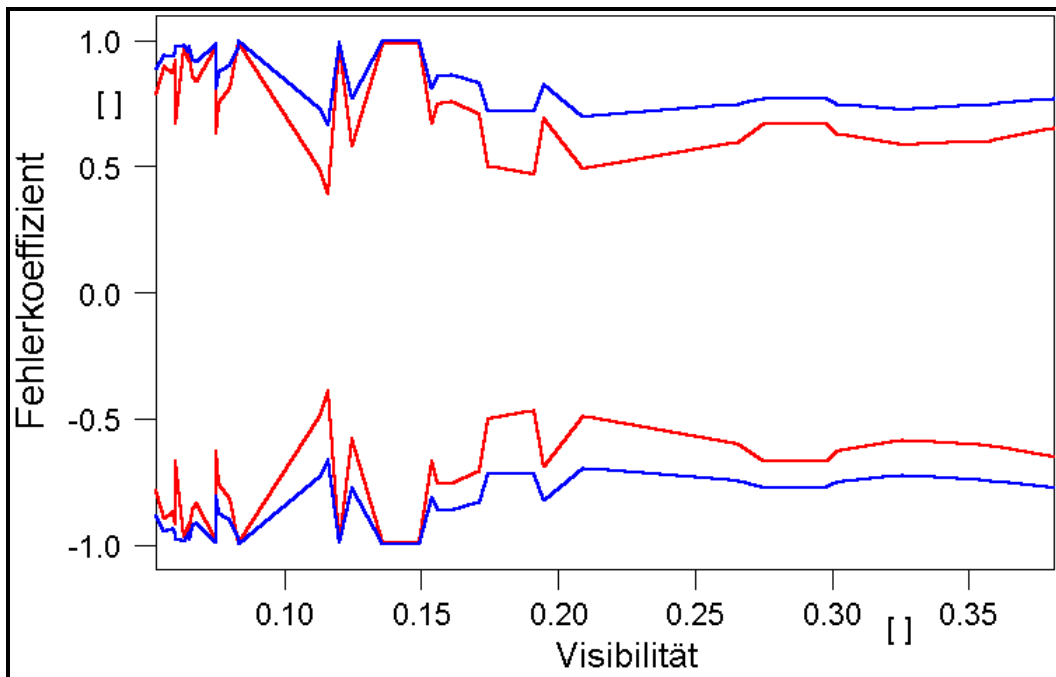
Grafisch dargestellt:



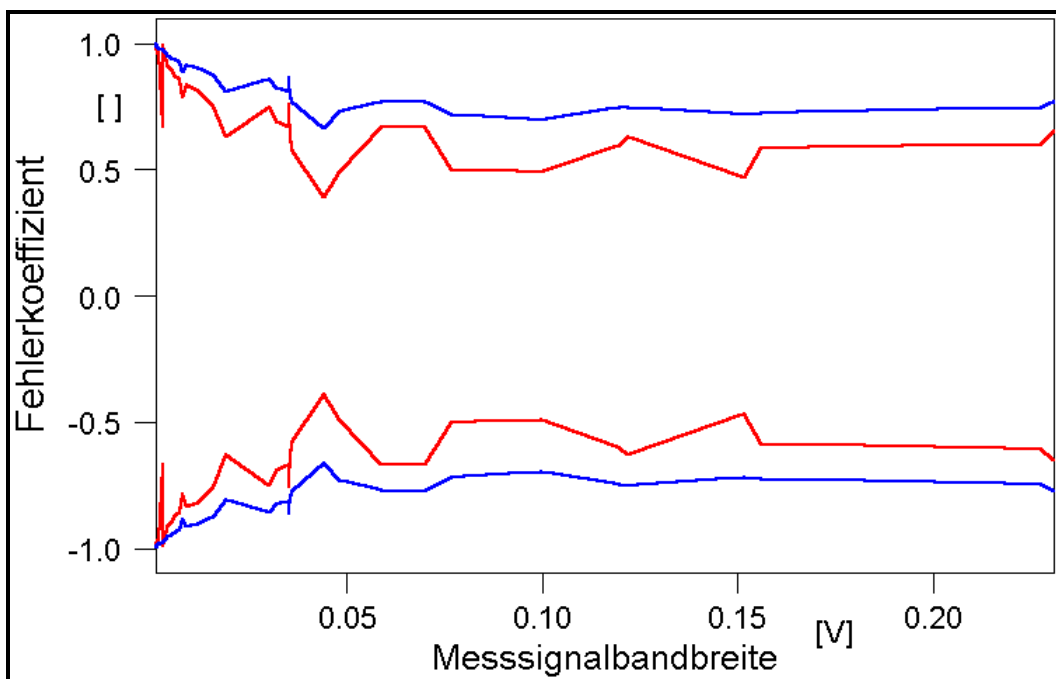
Abhängigkeit des Fehlers vom Polarisationswinkel. Im Vergleich zwischen den „Typ1“- (rot) und „Typ2“- Verfahren (blau) ist nun der zufällige Fehler geglättet worden.



Abhängigkeit des Fehlers vom Messsignalmittelwert. Im Vergleich zwischen den „Typ1“- (rot) und „Typ2“- Verfahren (blau) ist nun der zufällige Fehler geglättet worden.



Abhängigkeit des Fehlers von der errechneten Visibilität. Im Vergleich zwischen den „Typ1“- (rot) und „Typ2“- Verfahren (blau) ist der zufällige Fehler leicht geglättet worden. Gut zu sehen ist auch, dass das „Typ1“- (rot) und „Typ2“- (blau) Verfahren zueinander kompatibel sind.

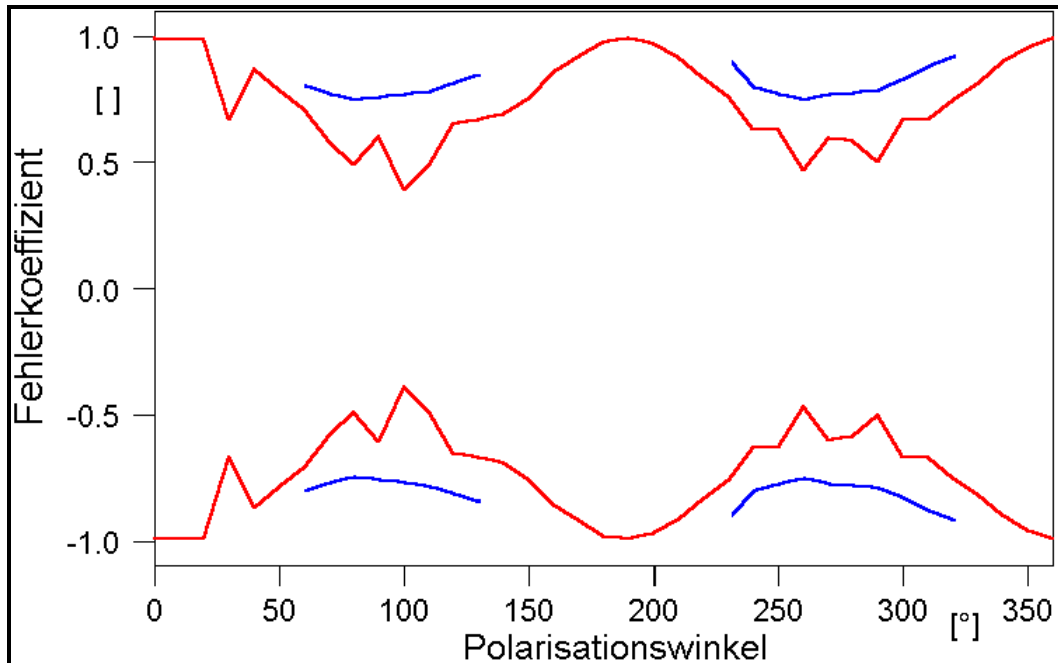


Abhängigkeit des Fehlers von der Messsignalbandbreite (MAX – MIN). Im Vergleich zwischen den „Typ1“- (rot) und „Typ2“- Verfahren (blau) ist der zufällige Fehler besonders oberhalb 0,10 leicht geglättet worden.

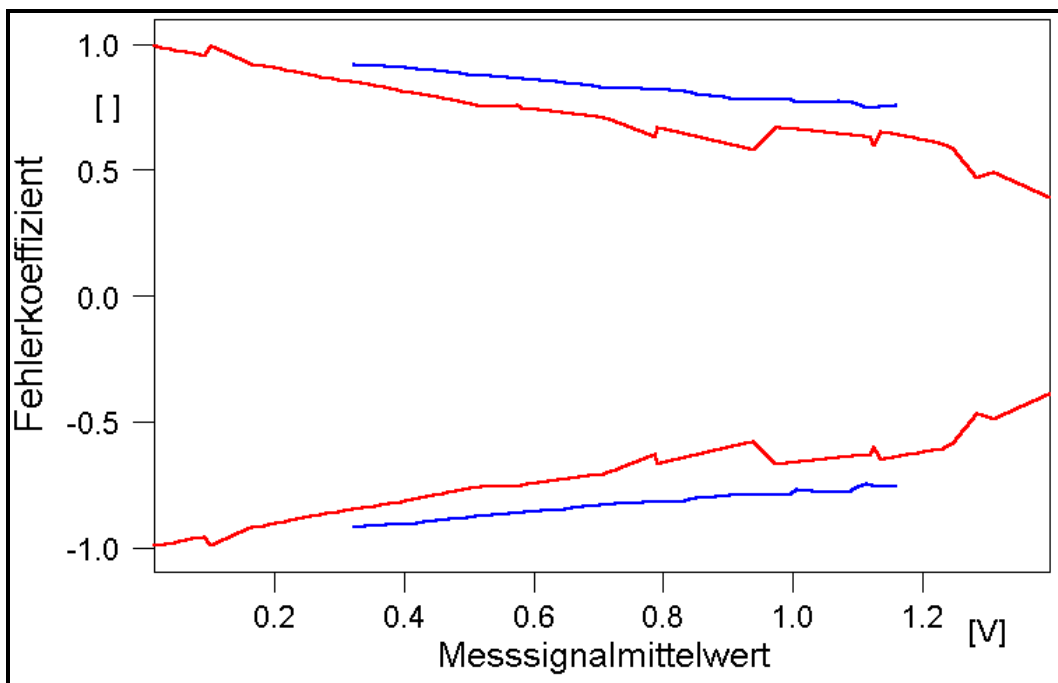
In „Polarisation versus Visibilität“ wurde in zwei Intervallen längere Messzeiten angewandt. Die dort ermittelten „F“- Werte.

#	DEG°	μ	σ	F
1	60	0,851	0,068	$\pm 0,804$
2	70	1,007	0,082	$\pm 0,769$
3	80	1,115	0,110	$\pm 0,749$
4	90	1,161	0,198	$\pm 0,759$
5	100	1,093	0,174	$\pm 0,770$
6	110	0,998	0,129	$\pm 0,783$
7	120	0,833	0,086	$\pm 0,813$
8	130	0,649	0,054	$\pm 0,851$
9	140	0,420	0,023	$\pm 0,901$
10	240	0,872	0,071	$\pm 0,800$
11	250	1,030	0,118	$\pm 0,772$
12	260	1,122	0,129	$\pm 0,752$
13	270	1,090	0,183	$\pm 0,773$
14	280	1,072	0,181	$\pm 0,777$
15	290	0,902	0,057	$\pm 0,789$
16	300	0,703	0,024	$\pm 0,830$
17	310	0,497	0,014	$\pm 0,879$
18	320	0,322	0,011	$\pm 0,922$

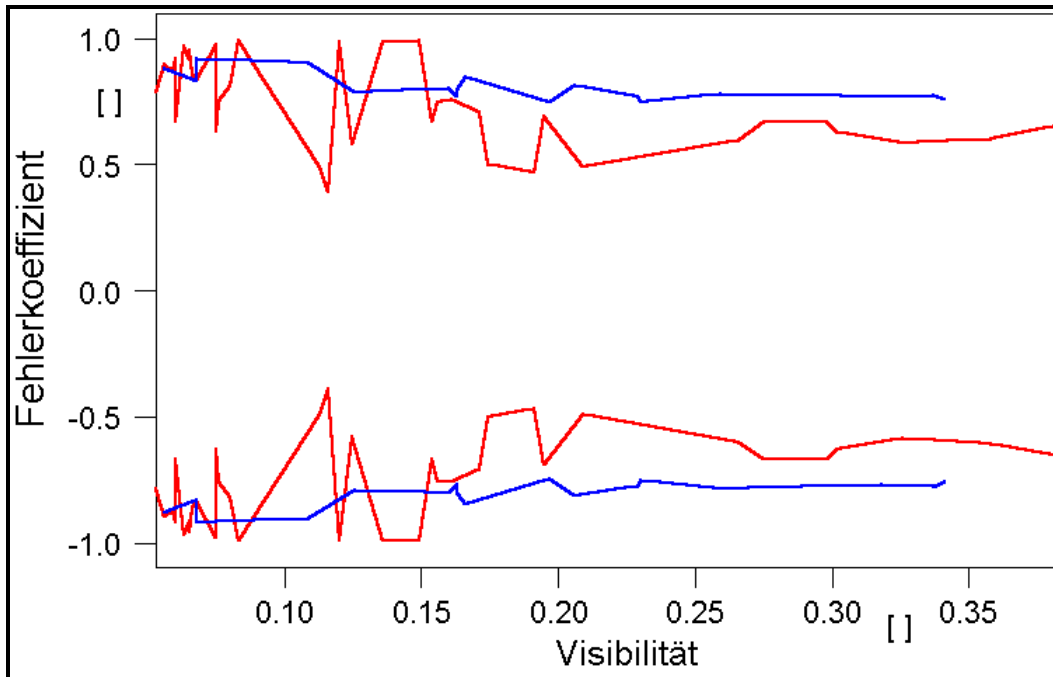
Grafisch dargestellt:



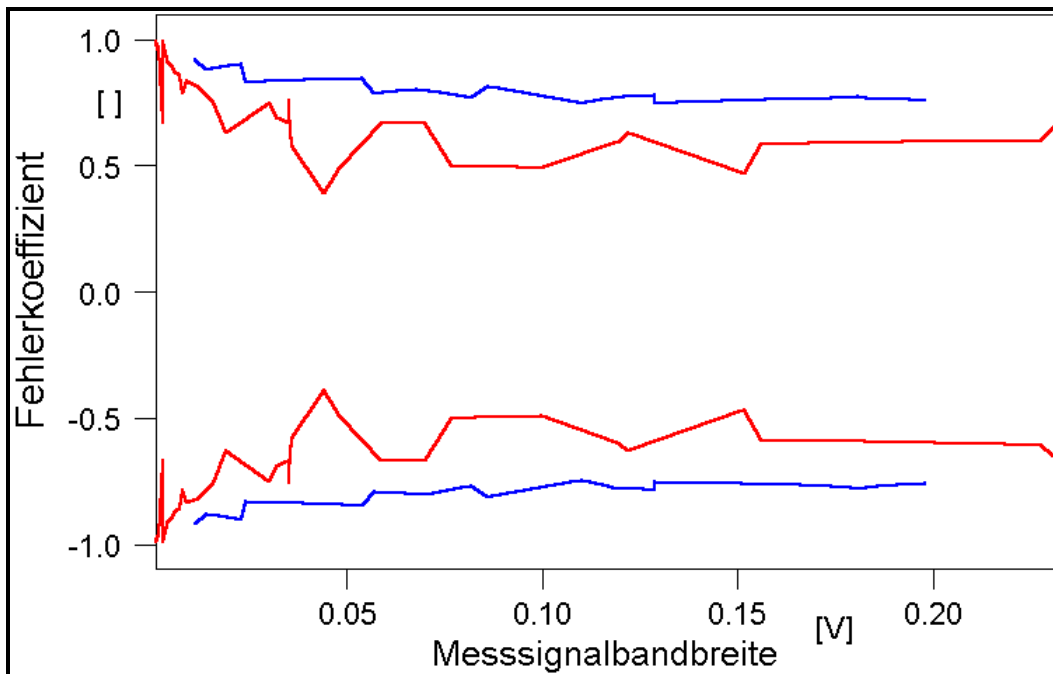
Abhängigkeit des Fehlers vom Polarisationswinkel. Die verlängerte Messzeit (**blau**) verkleinert die Auswirkungen des zufälligen Fehlers.



Abhängigkeit des Fehlers vom Messsignalmittelwert. Dieser Zusammenhang wird durch eine verlängerte Messzeit (**blau**) nicht beeinflusst.



Abhängigkeit des Fehlers von der errechneten Visibilität. Im Bereich unterhalb 0,20 wird der Einfluss des zufälligen Fehlers durch die verlängerte Messzeit (**blau**) verkleinert.



Abhängigkeit des Fehlers von der Messsignalbandbreite (MAX – MIN). Eine verlängerte Messzeit (**blau**) verkleinert den Einfluss des zufälligen Fehlers im gesamten Bereich.

- Auswertung:

Für eine fehlerfreie Messung geht der Fehlerkoeffizient „ $\pm F$ “ gegen Null, dann:

$$\pm F = \frac{\mu - \sigma}{4} - 1 = 0$$

\Rightarrow

$$\mu - \sigma = 4$$

Die ideale Visibilität „ V “ ist dementsprechend:

$$V = 2 \frac{\sigma}{\mu} = \frac{1}{2}$$

\Rightarrow

$$\mu - 4\sigma = 0$$

Das sich ergebende lineare Gleichungssystem wird gelöst:

$$\mu = \frac{16}{3} \approx 5,334 \quad \sigma = \frac{4}{3} \approx 1,334$$

Daraus wiederum kann der Variationskoeffizient ermittelt werden. Das ist die normierte Standardabweichung, welche für verschiedene Messungen vergleichbar ist:

$$\frac{\sigma}{\mu} = \frac{V}{2} = \frac{1}{4}$$

Bei vorliegenden Werten gilt:

0° bis 360° Tabelle:

$$\bar{\mu} = 0,611 \quad \bar{\sigma} = 0,046$$

\Rightarrow

$$\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\mu}} = \frac{\bar{V}}{2} = 0,075 \quad \pm F = 0,859$$

2- Intervall- Tabelle:

$$\bar{\mu} = 0,874 \quad \bar{\sigma} = 0,095$$

\Rightarrow

$$\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\mu}} = \frac{\bar{V}}{2} = 0,109 \quad \pm F = 0,805$$

Bei der Messwerttabelle mit verlängerten Messzeiten ist eine Fehlerverminderung zu erkennen.

