
Aufbau von faserbasierten Interferometern für die Quantenkryptografie

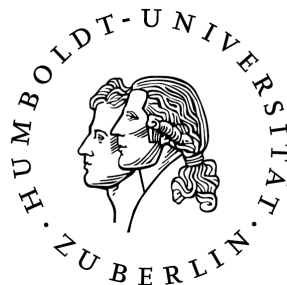
- Gehäuse, Phasenstabilisierung, Fasereinbau -

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:

$$V = \frac{MIN - MAX}{MAX + MIN}$$

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:

Es wird nach „F“ der Fehlergröße umgestellt:

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

⇒

$$\pm F = \frac{MAX - MIN}{b} - 1$$

Den Wert „b“ erhalten wir aus „V“:

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

⇒

$$b = \frac{4V}{1 - V} \cdot a$$

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

$$a = 1$$

⇒

$$b = 4 \cdot \frac{V}{1 - V}$$

⇒

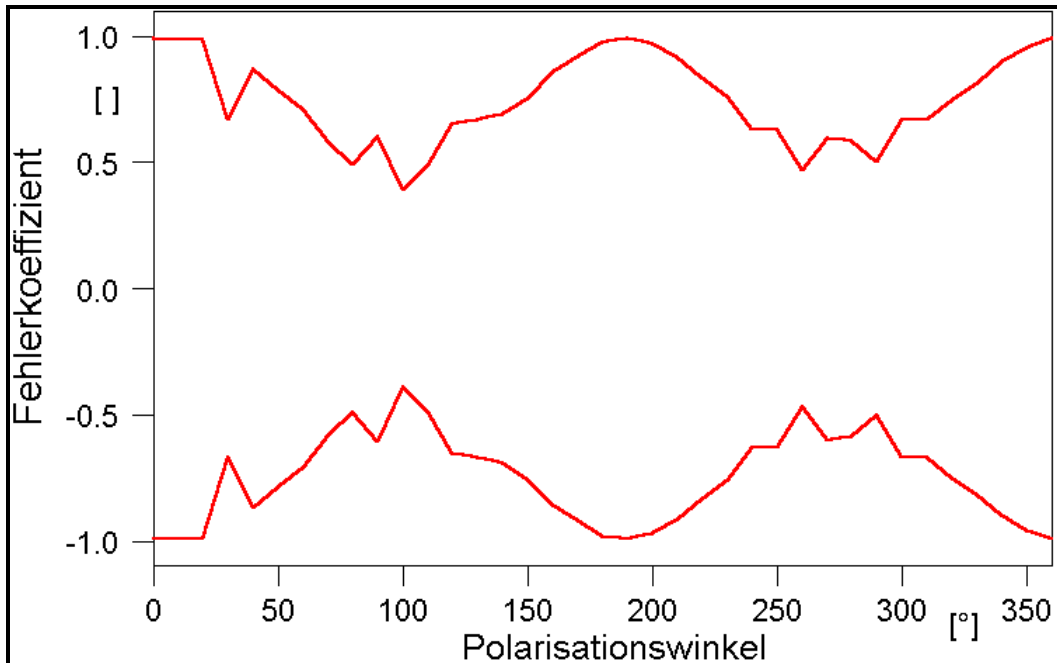
$$-1 < F < +1$$

- Wertermittlung:

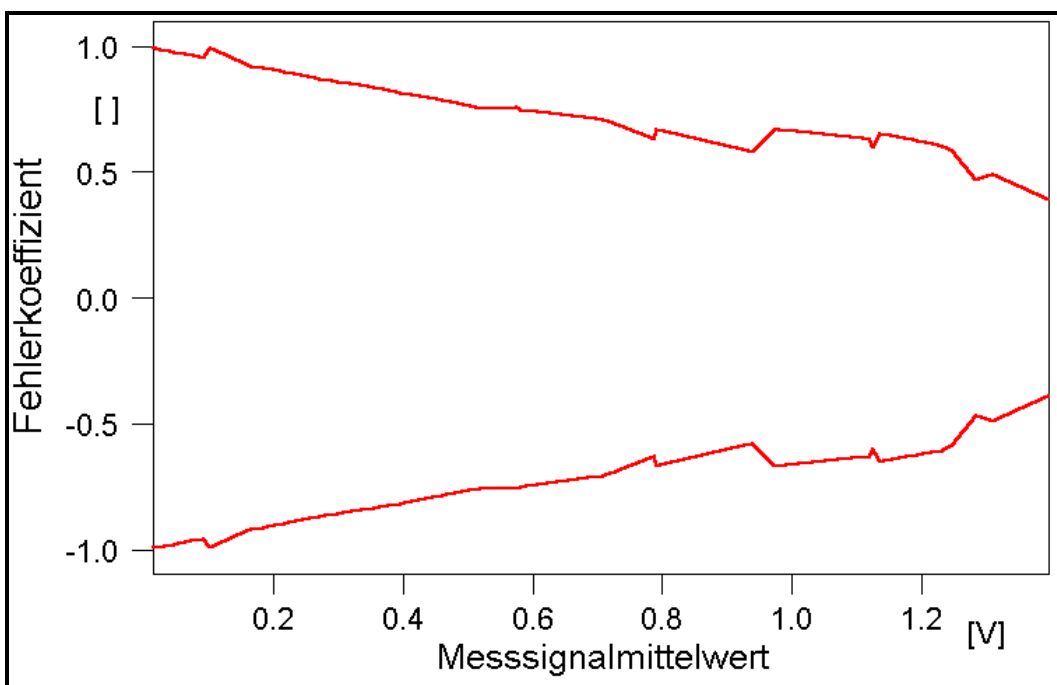
Werte aus „Polarisation versus Visibilität“:

#	DEG°	MAX	MIN	V	b	F	μ	σ
1	0/360	0,067	0,065	0,083	0,362	$\pm 0,994$	0,103	0,003
2	10	0,028	0,022	0,120	0,545	$\pm 0,989$	0,025	0,001
3	20	0,025	0,019	0,136	0,630	$\pm 0,990$	0,022	0,001
4	30	0,108	0,096	0,060	0,255	$\pm 0,671$	0,101	0,003
5	40	0,288	0,256	0,059	0,251	$\pm 0,872$	0,271	0,006
6	50	0,480	0,432	0,053	0,224	$\pm 0,786$	0,461	0,008
7	60	0,820	0,580	0,171	0,825	$\pm 0,709$	0,709	0,035
8	70	1,080	0,840	0,125	0,571	$\pm 0,580$	0,939	0,036
9	80	1,280	1,020	0,113	0,510	$\pm 0,490$	1,129	0,048
10	90	1,660	0,780	0,358	2,230	$\pm 0,605$	1,233	0,228
11	100	1,540	1,220	0,116	0,525	$\pm 0,390$	1,397	0,044
12	110	1,560	1,020	0,209	1,057	$\pm 0,489$	1,312	0,100
13	120	1,560	0,700	0,381	2,462	$\pm 0,651$	1,136	0,231
14	130	1,220	0,660	0,298	1,698	$\pm 0,670$	0,974	0,059
15	140	0,920	0,620	0,195	0,969	$\pm 0,690$	0,729	0,032
16	150	0,568	0,488	0,076	0,329	$\pm 0,757$	0,519	0,016
17	160	0,324	0,284	0,066	0,283	$\pm 0,858$	0,299	0,007
18	170	0,178	0,158	0,060	0,255	$\pm 0,922$	0,165	0,004
19	180	0,050	0,043	0,075	0,324	$\pm 0,978$	0,046	0,001
20	190	0,016	0,012	0,149	0,700	$\pm 0,994$	0,014	0,001
21	200	0,067	0,059	0,063	0,269	$\pm 0,970$	0,063	0,002
22	210	0,196	0,172	0,065	0,278	$\pm 0,914$	0,184	0,004
23	220	0,376	0,328	0,068	0,292	$\pm 0,836$	0,354	0,009
24	230	0,664	0,480	0,161	0,768	$\pm 0,760$	0,574	0,035
25	240	0,860	0,740	0,075	0,324	$\pm 0,630$	0,788	0,019
26	250	1,380	0,740	0,302	1,731	$\pm 0,630$	1,120	0,122
27	260	1,560	1,060	0,191	0,944	$\pm 0,471$	1,285	0,152
28	270	1,380	0,800	0,266	1,450	$\pm 0,600$	1,125	0,120
29	280	1,640	0,840	0,326	1,935	$\pm 0,587$	1,248	0,156
30	290	1,420	1,000	0,174	0,843	$\pm 0,502$	1,194	0,077
31	300	1,160	0,660	0,275	1,517	$\pm 0,670$	0,980	0,070
32	310	0,900	0,660	0,154	0,728	$\pm 0,670$	0,792	0,035
33	320	0,680	0,496	0,156	0,739	$\pm 0,751$	0,581	0,030
34	330	0,432	0,368	0,080	0,348	$\pm 0,816$	0,396	0,012
35	340	0,228	0,204	0,056	0,237	$\pm 0,899$	0,216	0,005
36	350	0,098	0,086	0,065	0,278	$\pm 0,957$	0,092	0,002
37	360/0	0,067	0,056	0,083	0,362	$\pm 0,994$	0,018	0,001

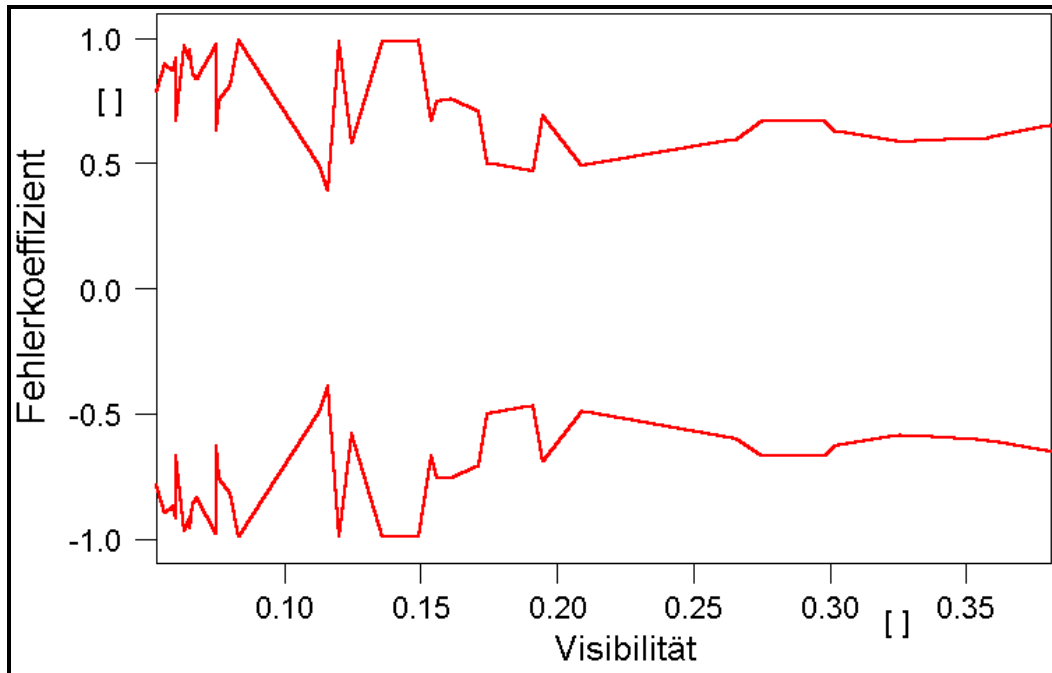
Grafisch dargestellt:



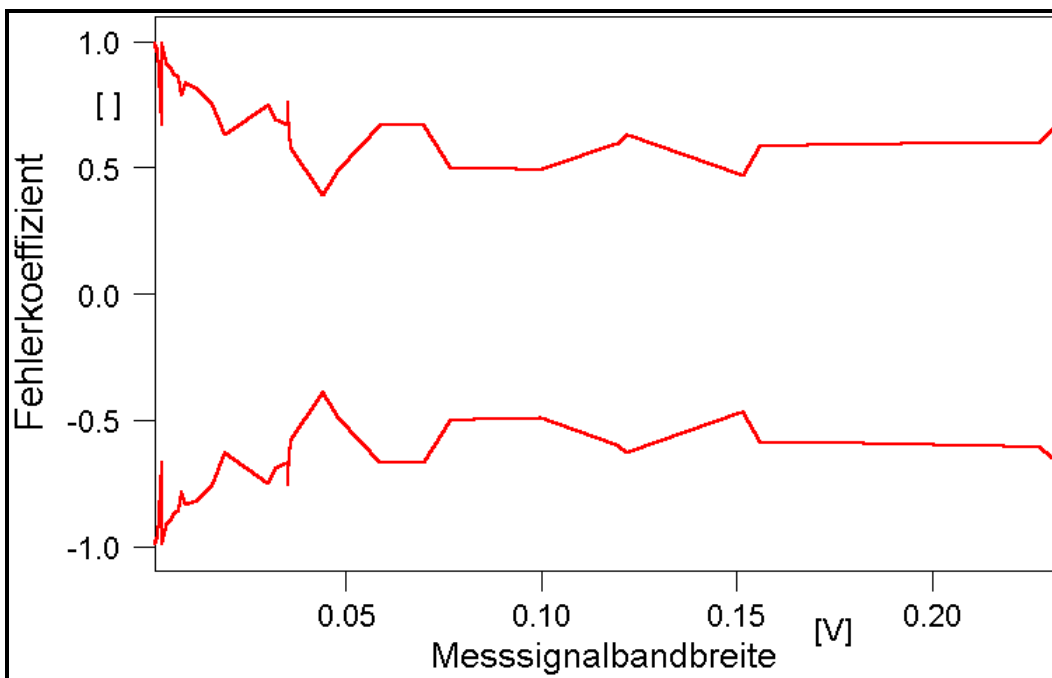
Abhängigkeit des Fehlers vom Polarisationswinkel. In den Bereichen der Ausgangsleistungsmaxima ist der Fehler kleiner als in den Minima.



Abhängigkeit des Fehlers vom Messsignalmittelwert. Je größer die anliegende optische Leistung am Detektor ist desto kleiner ist der resultierende Fehler.



Abhängigkeit des Fehlers von der errechneten Visibilität. Im Bereich unterhalb 0,20 ist der zufällige Fehler maßgebend, oberhalb 0,20 der systematische.

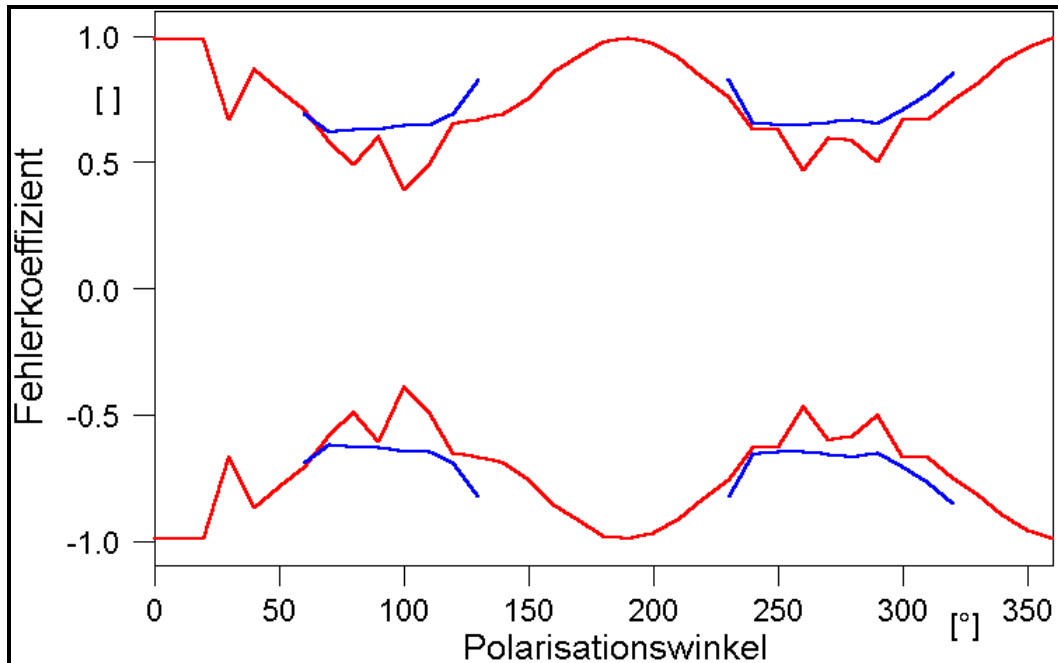


Abhängigkeit des Fehlers von der Messsignalbandbreite (MAX – MIN). Im Bereich unterhalb 0,025 ist der zufällige Fehler maßgebend, oberhalb 0,025 der systematische.

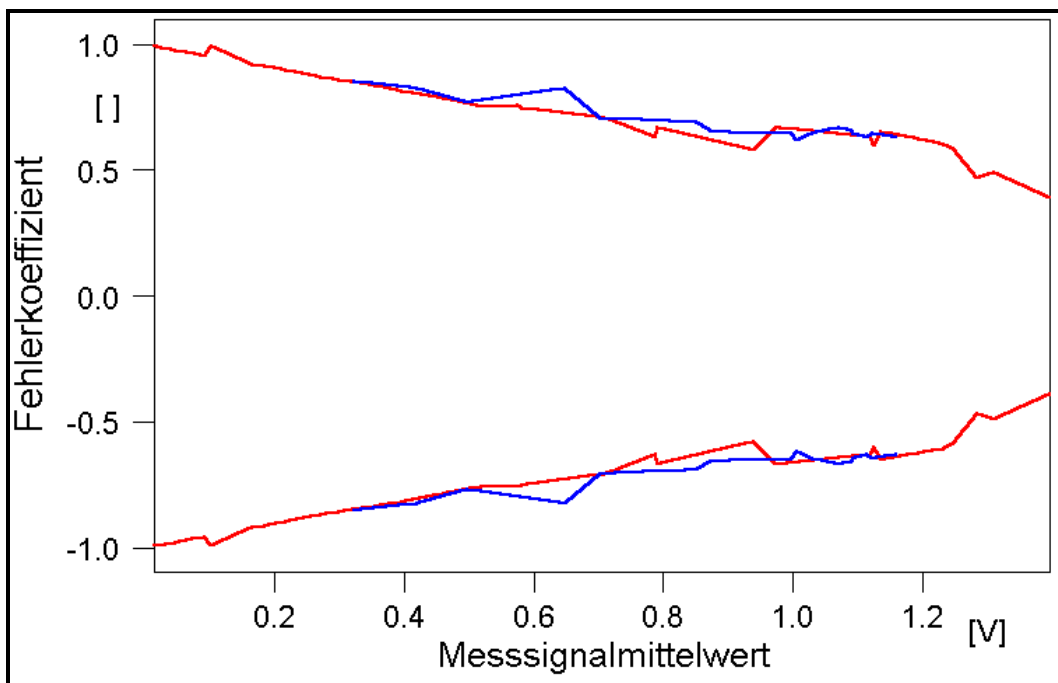
In „Polarisation versus Visibilität“ wurde in zwei Intervallen längere Messzeiten angewandt. Die dort ermittelten „F“- Werte.

#	DEG°	MAX	MIN	V	b	F	μ	σ
1	60	1,080	0,620	0,271	1,487	$\pm 0,691$	0,851	0,068
2	70	1,280	0,760	0,255	1,369	$\pm 0,620$	1,007	0,082
3	80	1,420	0,740	0,314	1,831	$\pm 0,629$	1,115	0,110
4	90	1,560	0,740	0,357	2,221	$\pm 0,631$	1,161	0,198
5	100	1,480	0,700	0,357	2,221	$\pm 0,649$	1,093	0,174
6	110	1,300	0,700	0,300	1,714	$\pm 0,650$	0,998	0,129
7	120	1,080	0,620	0,271	1,487	$\pm 0,691$	0,833	0,086
8	130	0,800	0,488	0,312	1,814	$\pm 0,828$	0,649	0,054
9	140	0,496	0,344	0,181	0,884	$\pm 0,828$	0,420	0,023
10	240	1,100	0,680	0,236	1,236	$\pm 0,660$	0,872	0,071
11	250	1,380	0,700	0,327	1,944	$\pm 0,650$	1,030	0,118
12	260	1,460	0,700	0,352	2,173	$\pm 0,650$	1,122	0,129
13	270	1,500	0,680	0,376	2,410	$\pm 0,660$	1,090	0,183
14	280	1,440	0,660	0,371	2,359	$\pm 0,669$	1,072	0,181
15	290	1,120	0,700	0,231	1,202	$\pm 0,651$	0,902	0,057
16	300	0,820	0,580	0,171	0,825	$\pm 0,709$	0,703	0,024
17	310	0,552	0,456	0,095	0,420	$\pm 0,771$	0,497	0,014
18	320	0,348	0,296	0,081	0,353	$\pm 0,853$	0,322	0,011

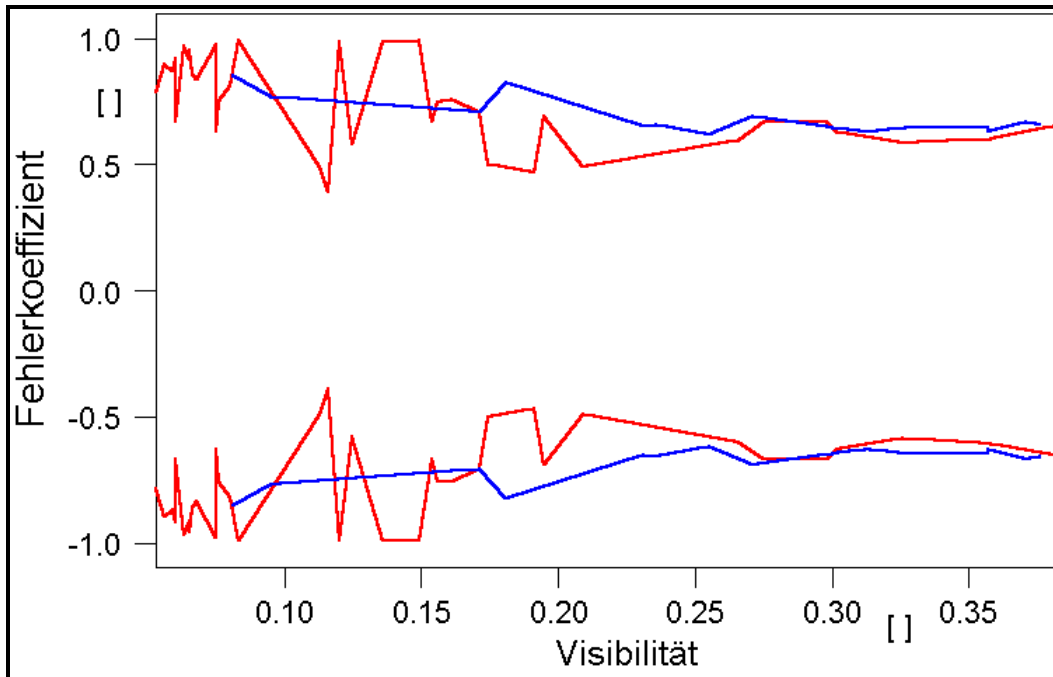
Grafisch dargestellt:



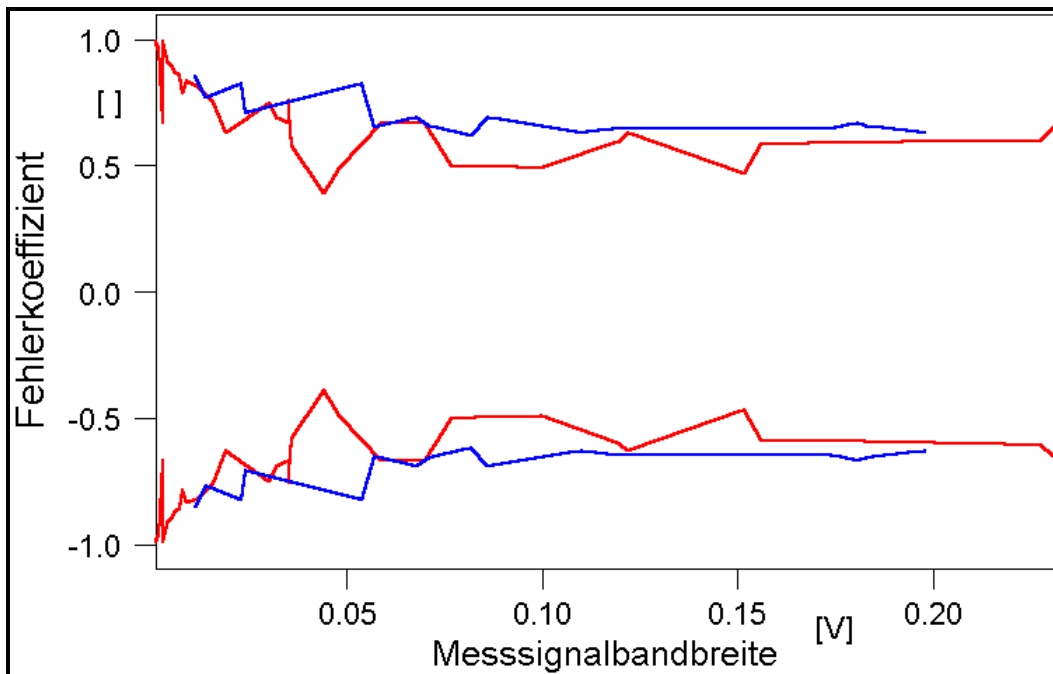
Abhängigkeit des Fehlers vom Polarisationswinkel. Die verlängerte Messzeit (**blau**) verkleinert die Auswirkungen des zufälligen Fehlers.



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:

Bei einer idealen Visibilität „V“ ergibt sich für „b“:

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

⇒

$$b = 4$$

Der daraus ermittelbare minimale Fehler „±F“:

$$MAX = 1 + 4 + 1 \quad MIN = 1 + 0 + 1$$

⇒

$$\pm F = 0$$

Für die ideale Messung muss der Fehlerkoeffizient gegen Null gehen.

