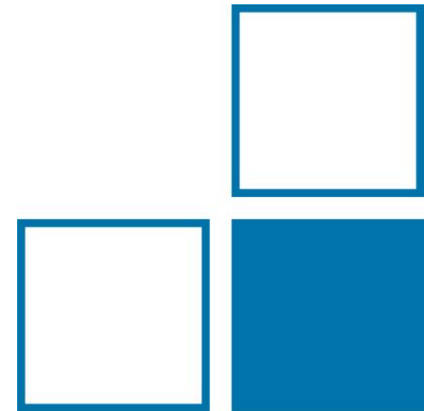


Ringvergleich Anstiegszeit im DKD

303. PTB-Seminar

Kai Baaske, AG 2.21



- Motivation und Organisation
 - Dauer, Teilnehmer
 - Artefakte, Messgrößen
 - Auswertungsmethoden
- Auswertung
 - Stabilität der Messwerte
 - Ergebnisse
- Diskussion
- Fazit

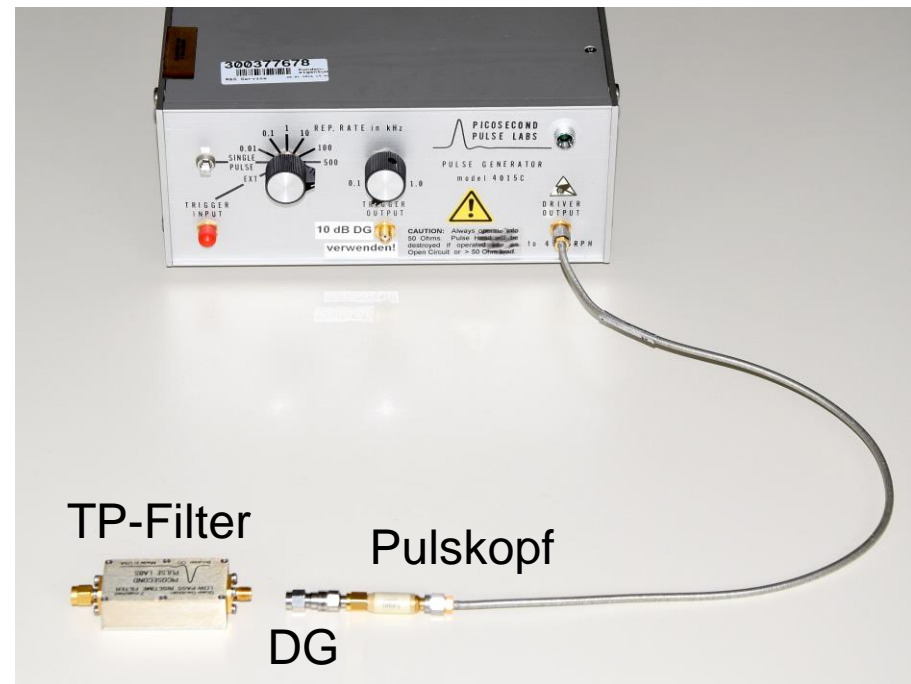
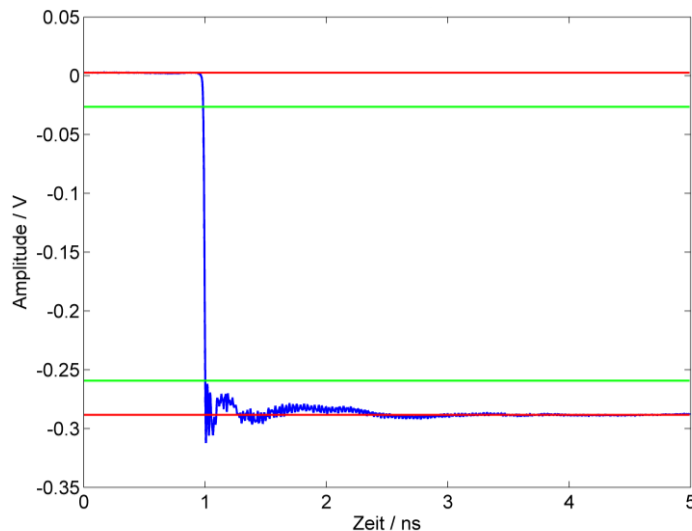
- Ziel:
 - Vergleichsmessung der Anstiegszeit und Bandbreite eines Oszilloskops / Pulsgenerators
- Organisation
 - Dauer: 21.09.2015 bis 20.05.2016
 - 2 Schleifen, PTB Messungen am Anfang, Mitte und Ende

- 14 Teilnehmer:

Atlas Copco Tools Central Europe GmbH, Kiel	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Atlas Copco Tools Central Europe GmbH, Wetzlar	Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
DB Systemtechnik GmbH	Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH
esz AG calibration & metrology	Tektronix GmbH
GfM Gesellschaft für Metrologie mbH	testo industrial services GmbH
Kalibrierzentrum Bayern	Trescal GmbH, Niederlassung Darmstadt
Kalibrierzentrum der Bundeswehr, Kiel	1A CAL GmbH - Gesellschaft für Metrologie -

■ Artefakte

- Stufenpulsgenerator Picosecond Pulse Labs 4015C
 - Grundgerät, Pulskopf mit 30 dB Dämpfungsglied
 - Nominelle Abfallzeit: 15 ps
 - Optional mit Tiefpassfilter
 - Nominelle Abfallzeit: 350 ps



- Artefakte

- Oszilloskop Rohde & Schwarz RTE1052

- Nominelle Anstiegszeit: < 700 ps
- Nominelle Bandbreite: > 500 MHz
- Nur Kanal 1 verwendet



Foto: RTE 1104, R&S

- Messgrößen
 - Kalibrierungen basieren auf der Richtlinie VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 4, Kalibrieren von Messmitteln für elektrische Größen
 - Oszilloskope.
 - Stufenpulsgenerator
 - Abfallzeit, ohne und mit Tiefpassfilter, je nach Möglichkeiten der KBS
 - Oszilloskop
 - Anstiegszeit
 - -3 dB Bandbreite bezogen auf 10 MHz
 - Dämpfung der Amplitude bei 500 MHz bezogen auf 10MHz

- Auswertungsmethoden
 - Abfall- / Anstiegszeit
 - E_N -Kriterium

$$E_N = \frac{K_{\text{Lab}} - K_{\text{Ref}}}{\sqrt{U(K_{\text{Lab}})^2 + U(K_{\text{Ref}})^2}}$$

- Referenzwert von PTB

■ Auswertungsmethoden

– Bandbreite / Dämpfung

– MU der PTB (AG 2.21) für Referenzwert ungeeignet

– Referenzwert des Vergleichs (Comparison Reference Value, CRV)

$$CRV = \sum_i w_i \cdot k_i \quad \text{mit } w_i = \left(\sum_i \frac{1}{U^2(k_i)} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{U^2(k_i)}$$

$$U(CRV) = \sqrt{\sum_i w_i^2 U^2(k_i)}$$

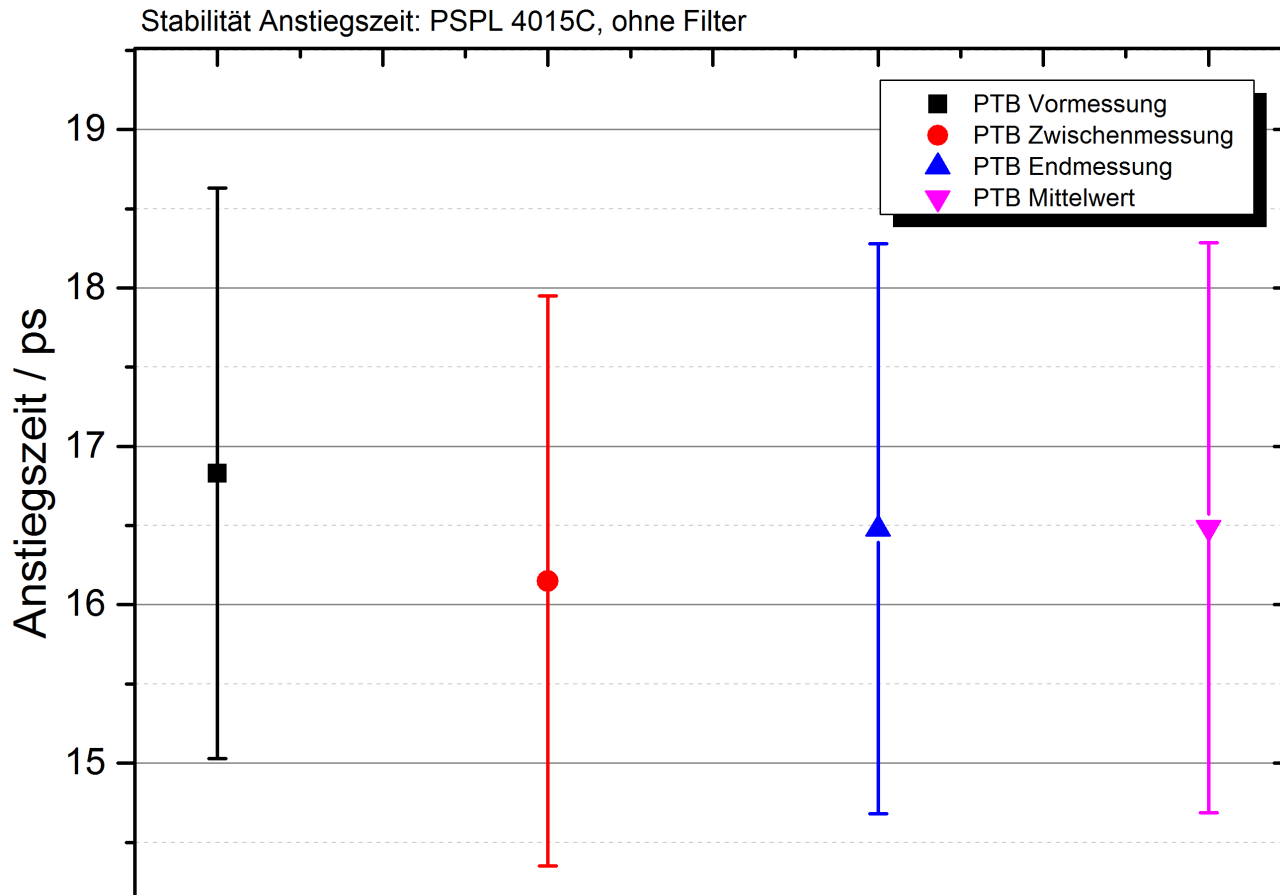
– Berechnung der Übereinstimmung mit dem Referenzwert (Degree of Equivalence, DoE)

$$DoE_i = CRV - k_i$$

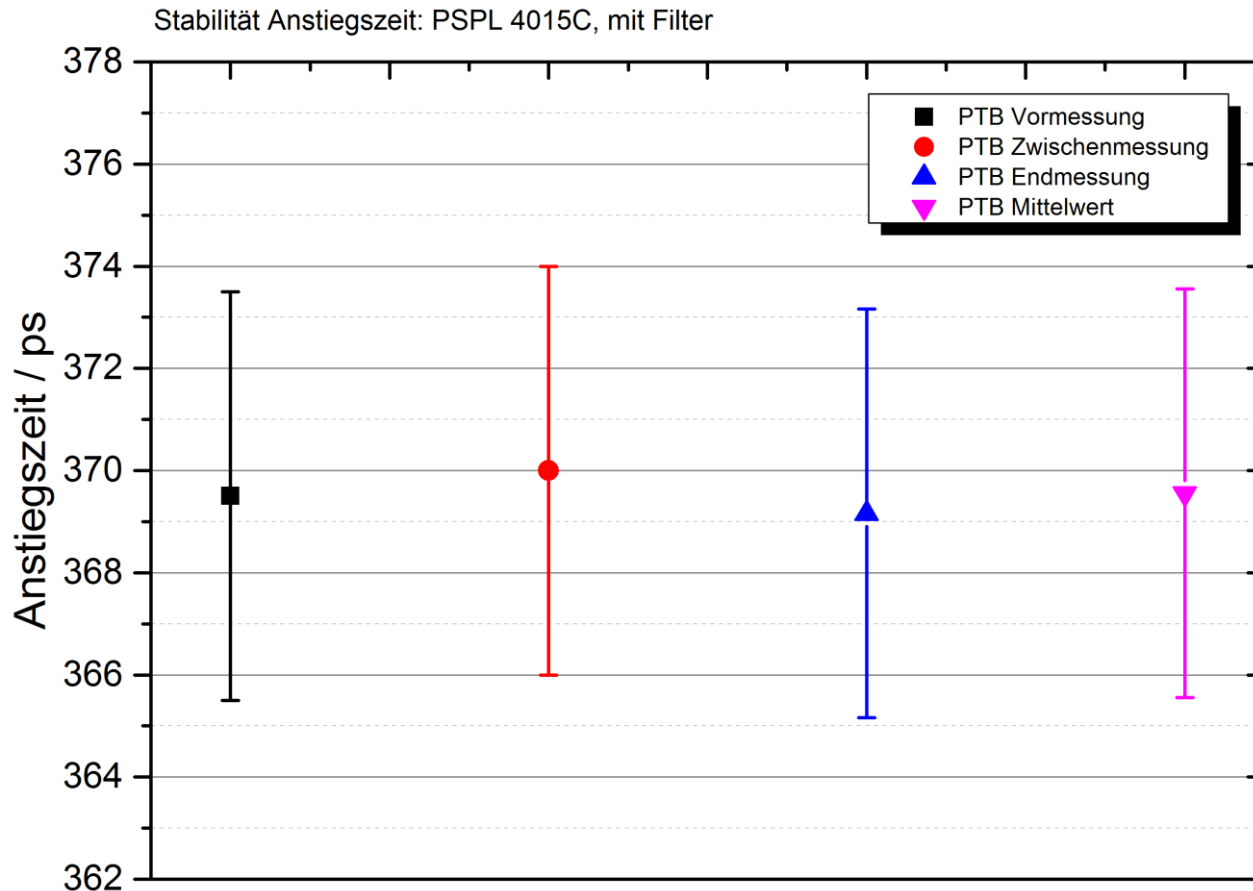
$$U(DoE_i) = \sqrt{U^2(k_i) - U^2(CRV)}$$

- Motivation und Organisation
 - Dauer, Teilnehmer
 - Artefakte, Messgrößen
 - Auswertungsmethoden
- Auswertung
 - Stabilität der Messwerte
 - Ergebnisse
- Diskussion
- Fazit

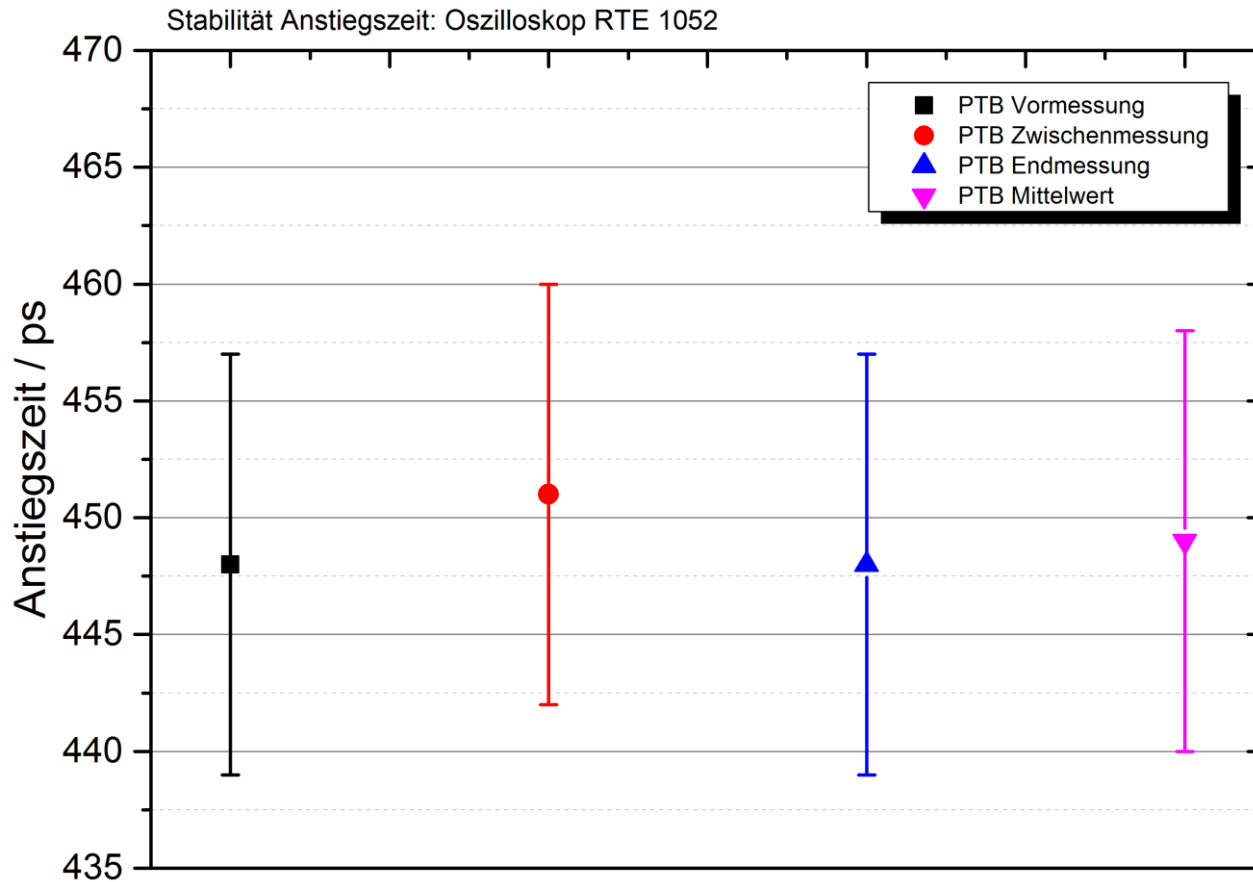
- Abfallzeit Pulsgenerator (nominell: 15 ps):



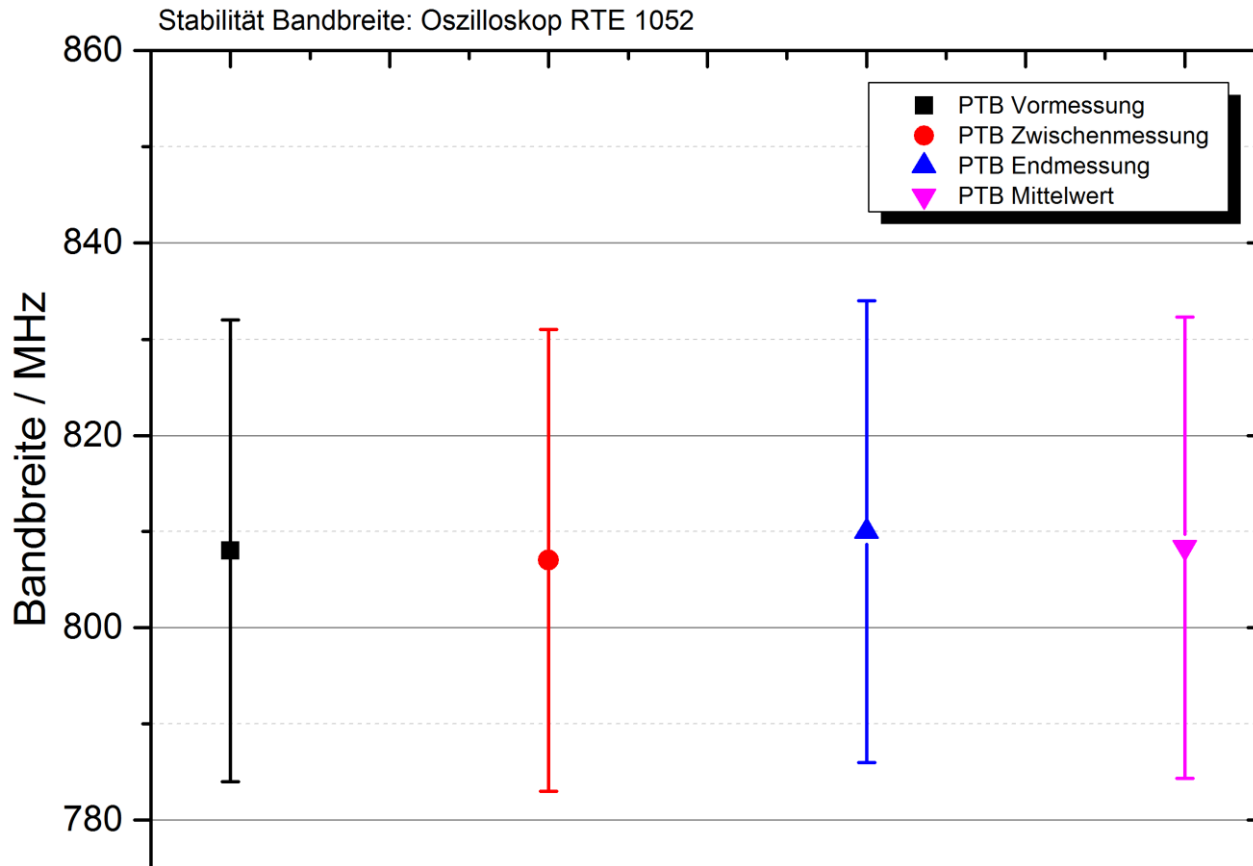
- Abfallzeit Pulsgenerator (nominell: 350 ps):



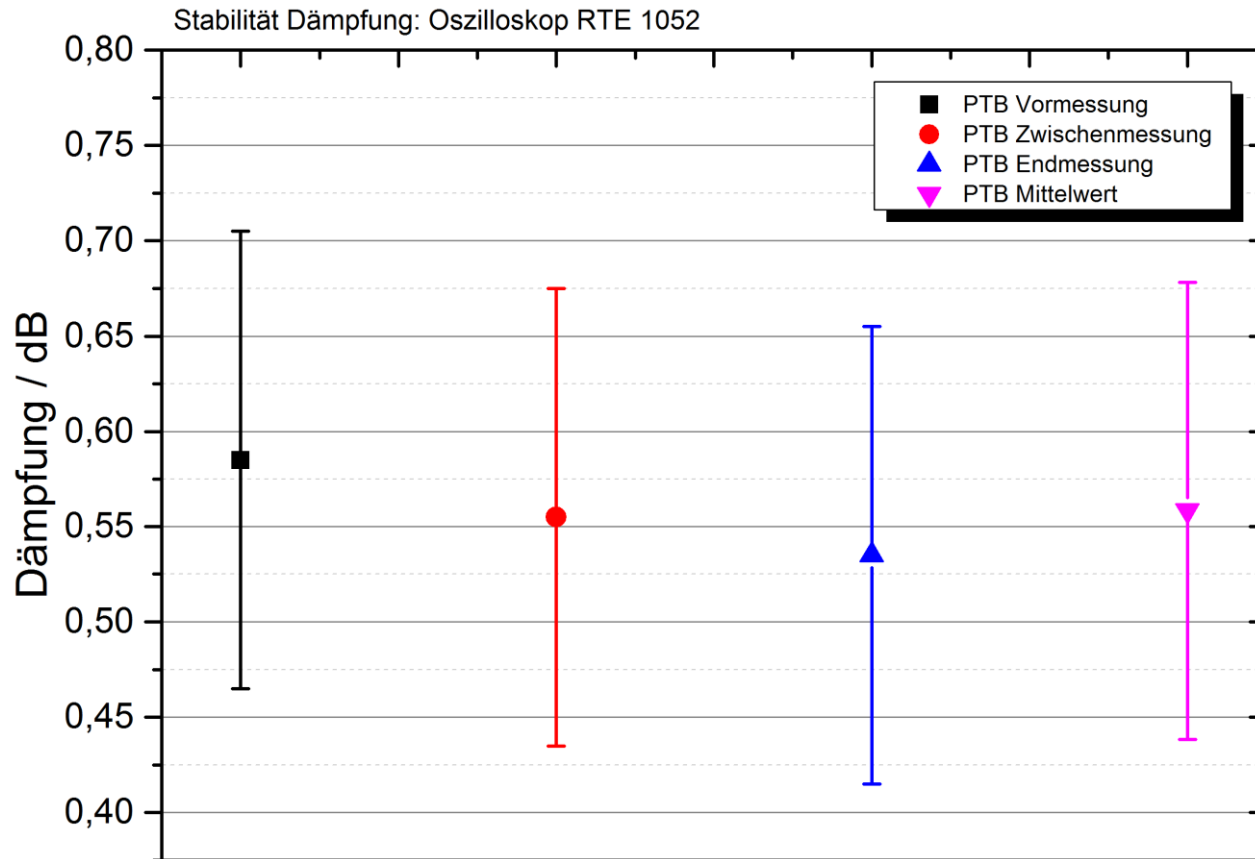
- Anstiegszeit Oszilloskop (nominell: < 700 ps):



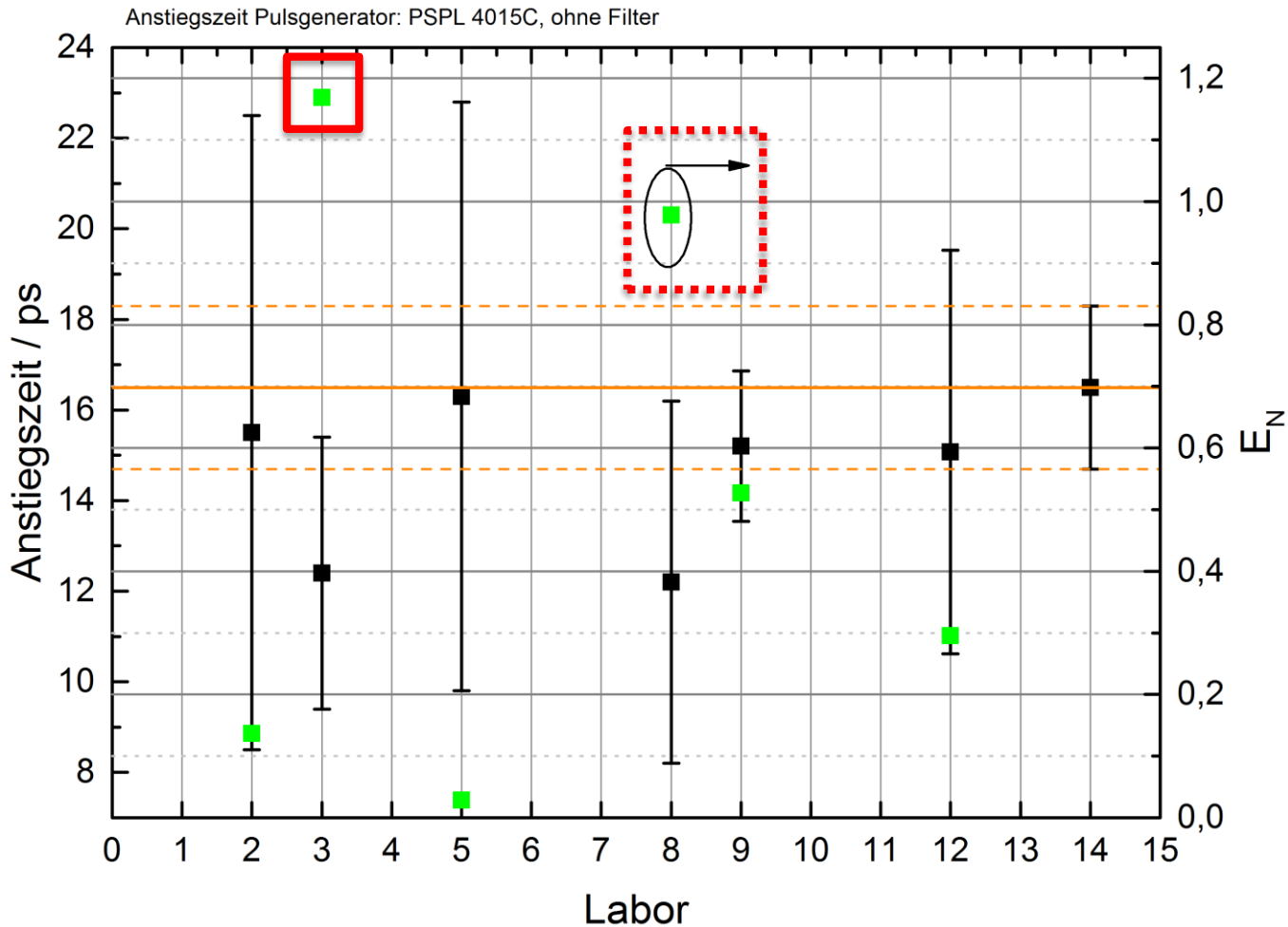
- Bandbreite Oszilloskop (nominell: > 500 MHz):



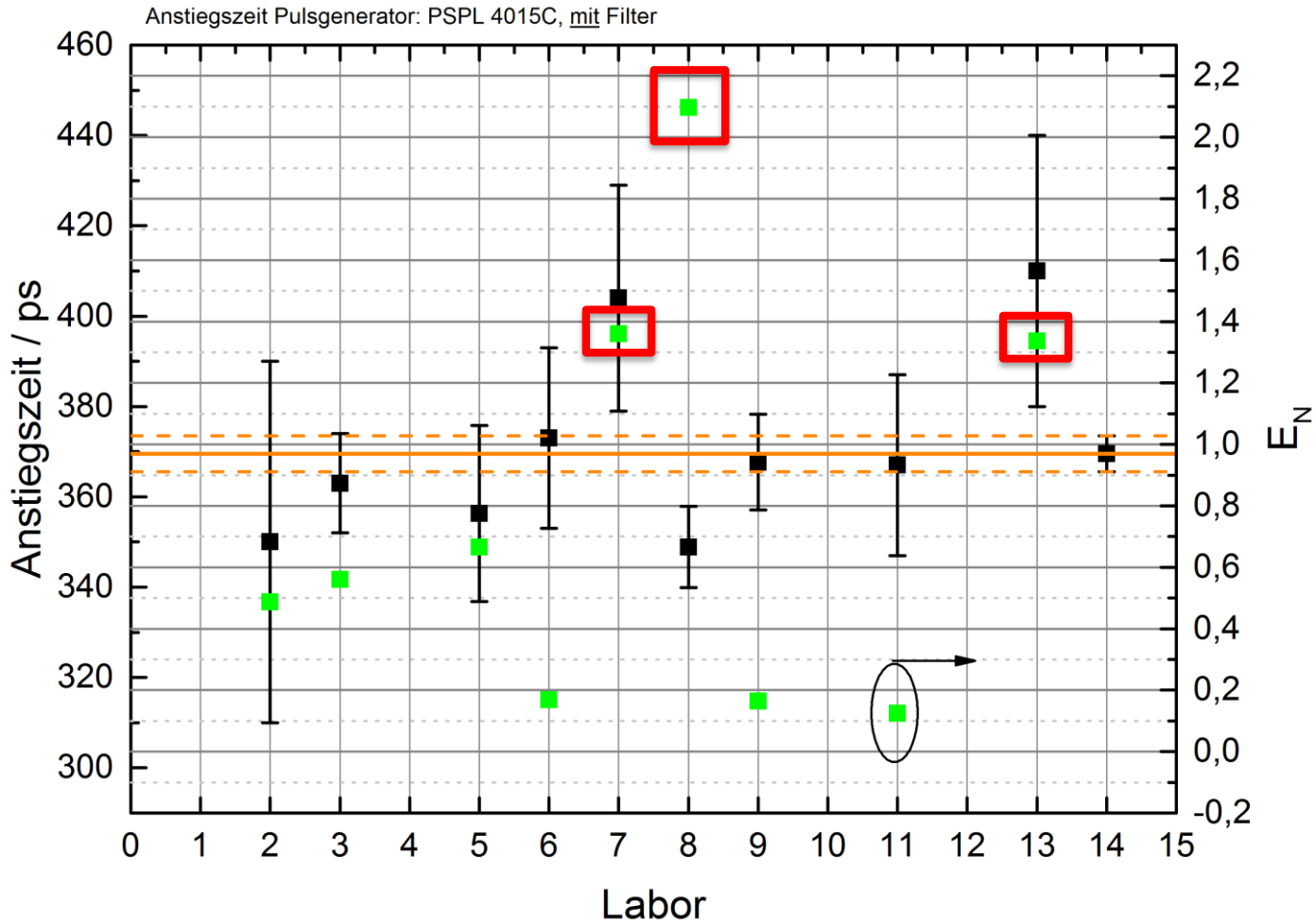
- Dämpfung bei 500 MHz Oszilloskop:



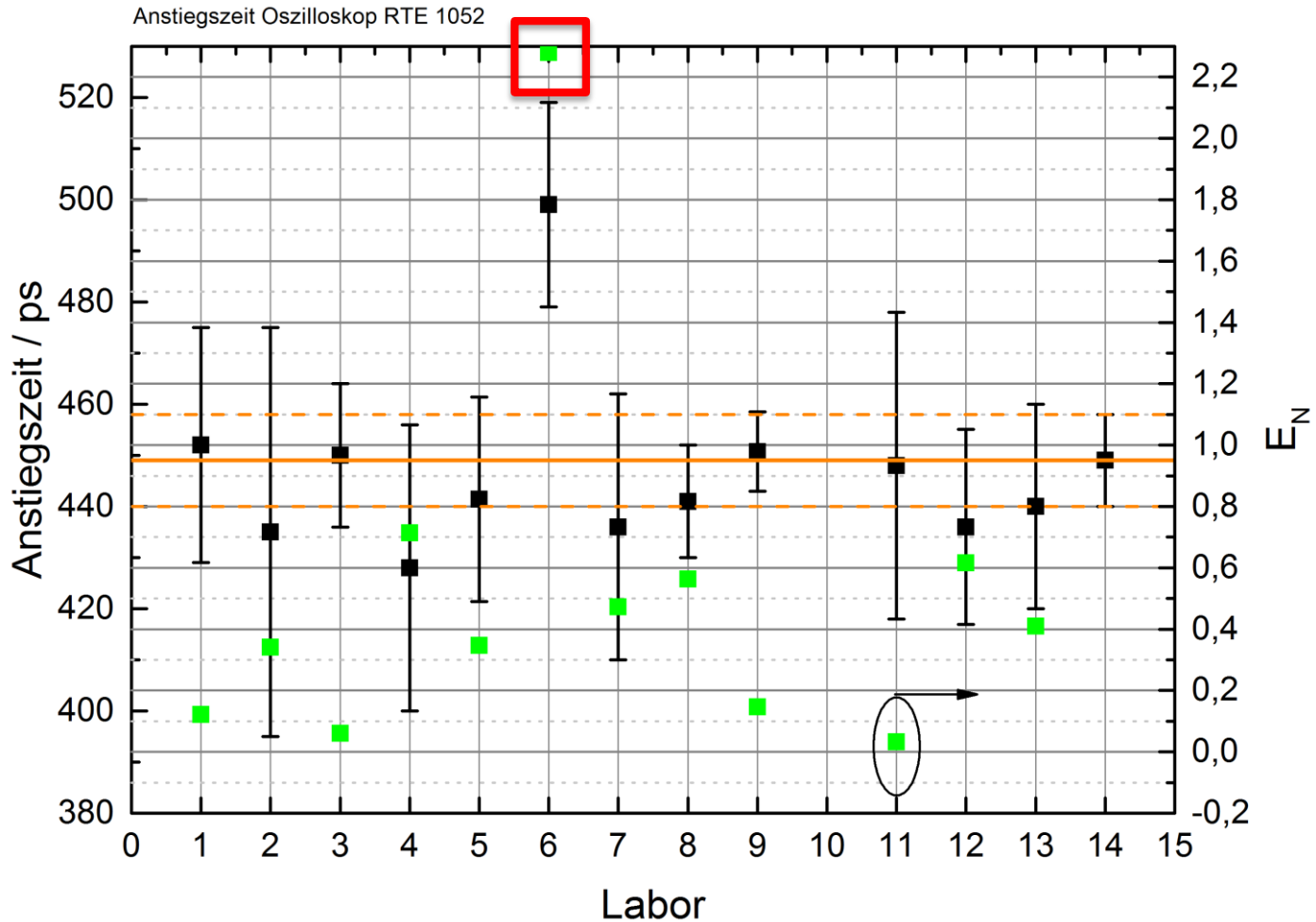
■ Abfallzeit Pulsgenerator:



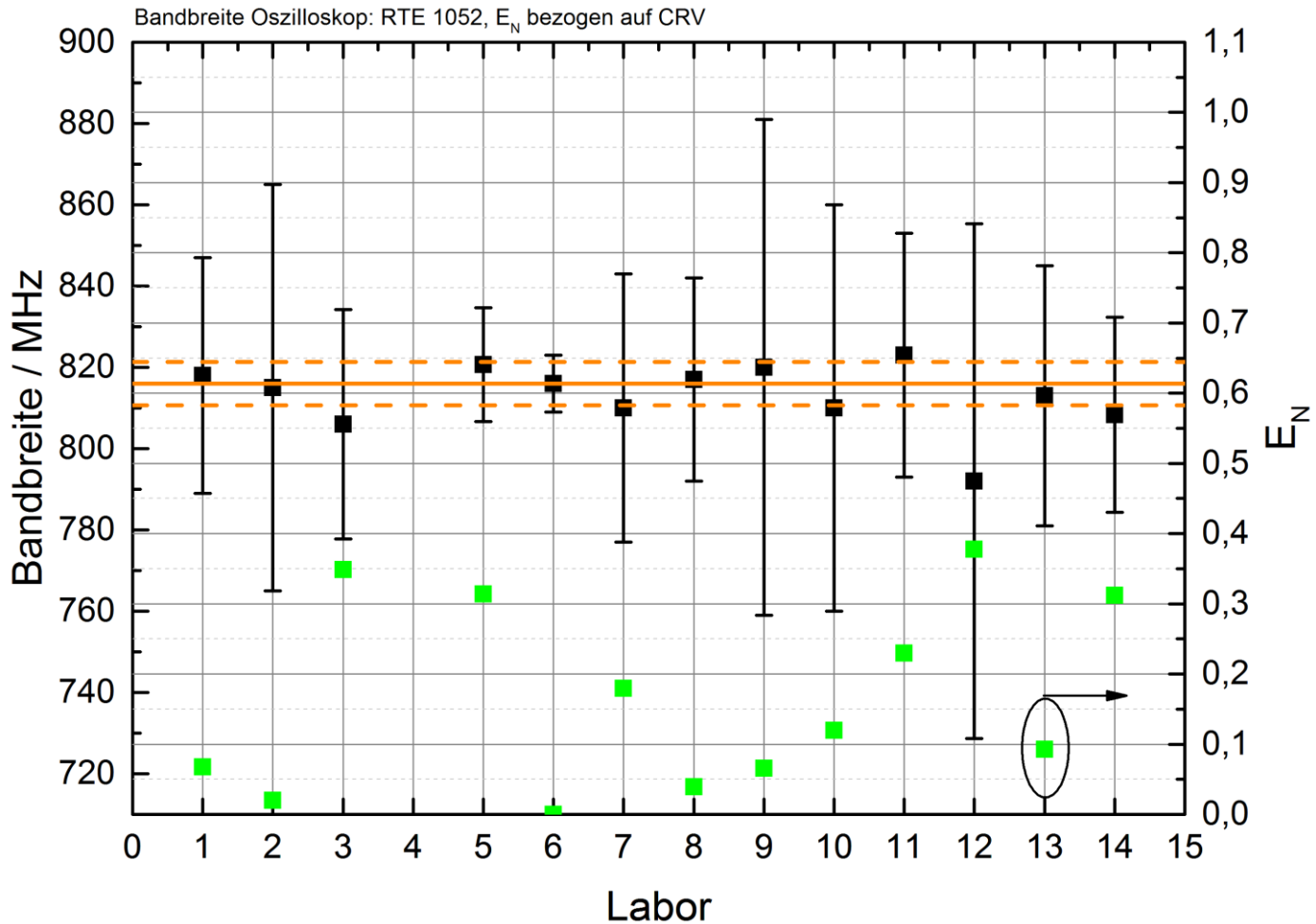
- Abfallzeit Pulsgenerator (mit Filter):



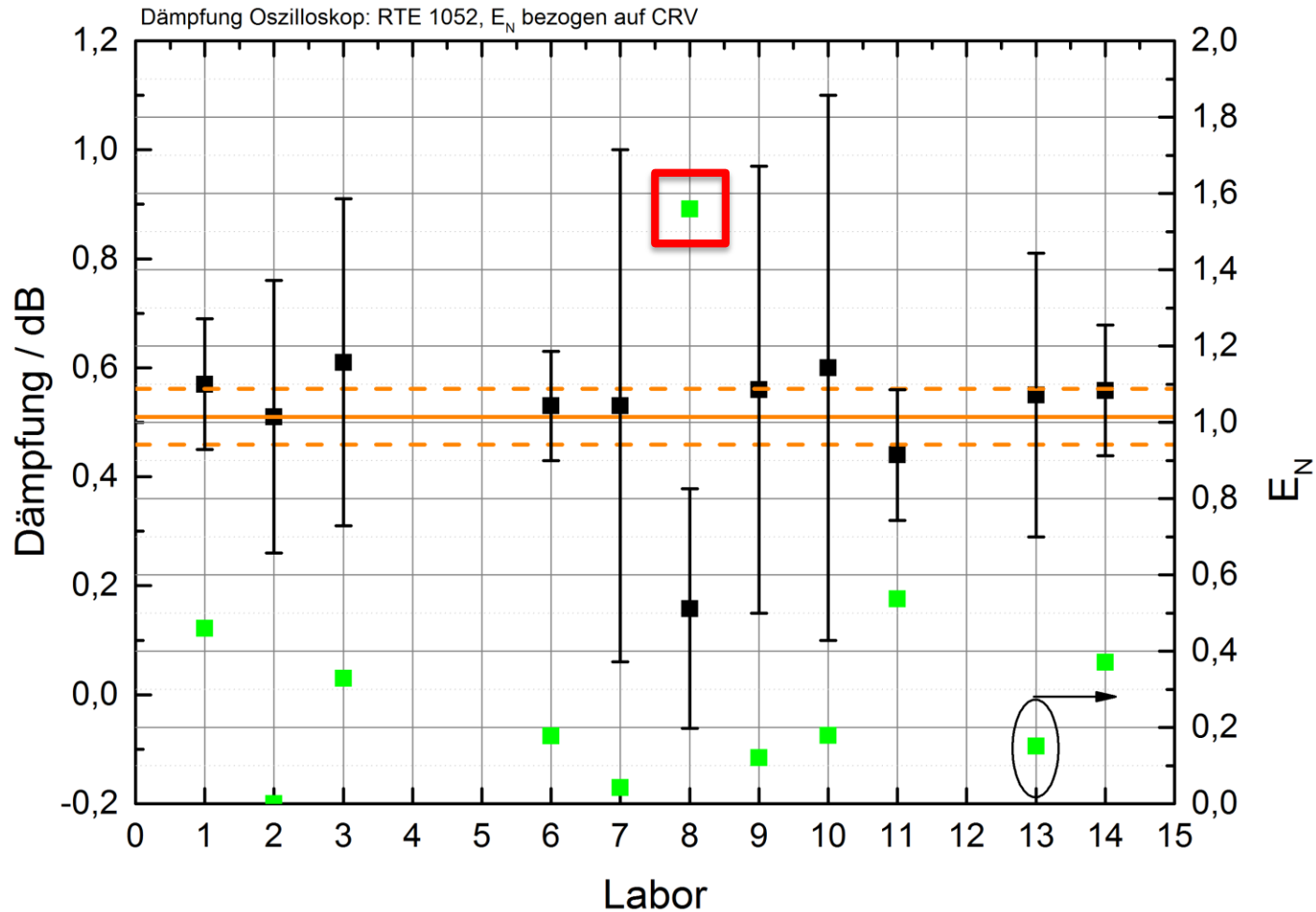
■ Anstiegszeit Oszilloskop:



- Bandbreite Oszilloskop (E_N bezogen auf CRV):



- Dämpfung bei 500 MHz Oszilloskop (E_N bezogen auf CRV):



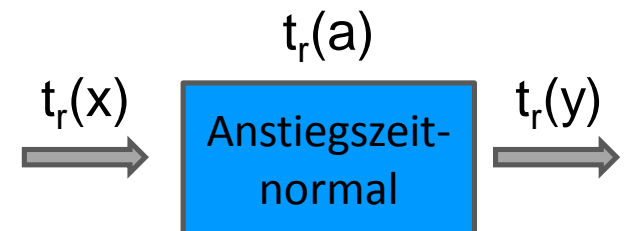
■ Berechnung der Eigenanstiegszeit des DUCs

- Messergebnis enthält Einfluss des Normals
- RSS (Root Sum of Squares)-Verfahren

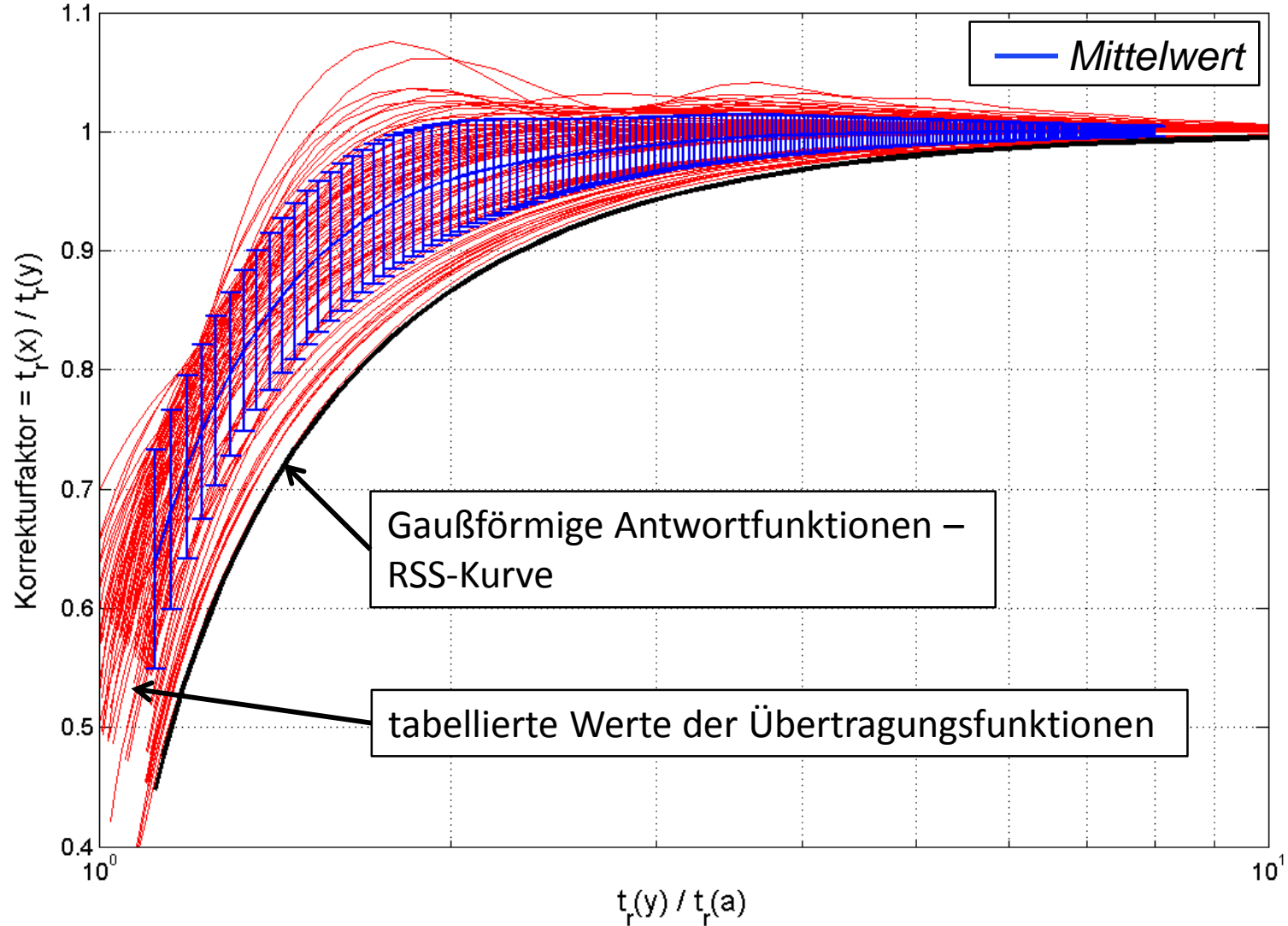
$$t_{r,DUC} = \sqrt{t_{r,Mess}^2 - t_{r,Normal}^2}$$

- Formel nur korrekt für gaußförmige Antwortfunktionen
- Oszilloskop-/Stufengenerator-Frequenzgänge sehr häufig nicht gaußförmig
- Unsicherheitsbeitrag der Abweichung nur schätzbar
- im Bereich $t_{r,Mess} / t_{r,Normal} < 3$ korrigiert RSS-Methode bei nicht gaußförmigen Übertragungsfunktionen zu stark

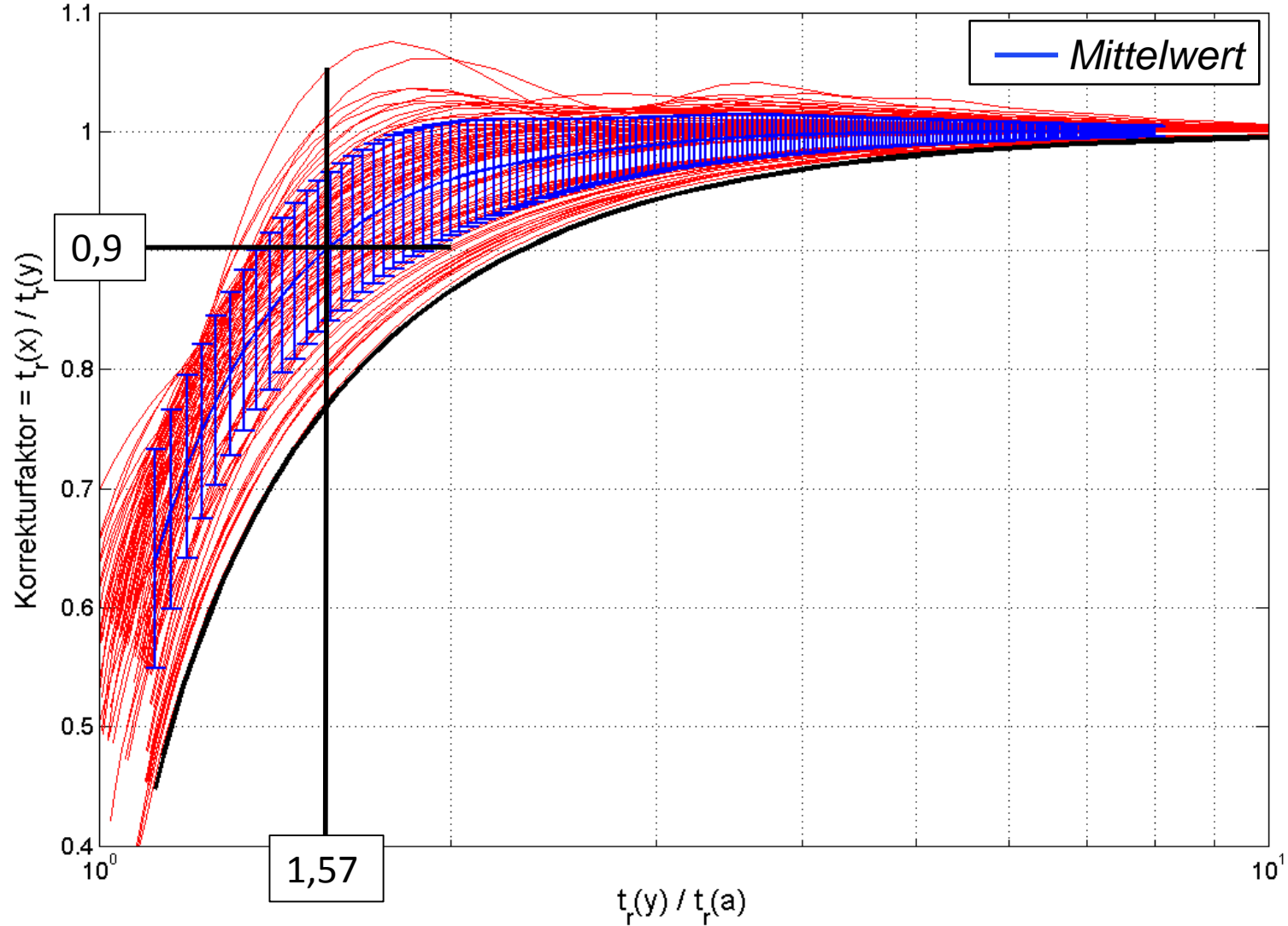
- Korrekturfaktor als Ersatz für RSS-Methode
- Bestimmung des Korrekturfaktors
 - Erzeugung einer Schar auf Basis von idealen, gefalteten Übertragungsfunktionen
 - Korrekturfaktor
 - wird bestimmt aus Verhältnis $C = t_r(x)/t_r(y)$ als Funktion von $t_r(y)/t_r(a)$ dabei ist: $[y = x * a]$
 - $t_{r, Mess}$ wird mit Korrekturfaktor C multipliziert
 - wird für jede Messung bestimmt
 - Mittelwert aus Schar bilden
 - Streubreite der Schar als Unsicherheitsbeitrag



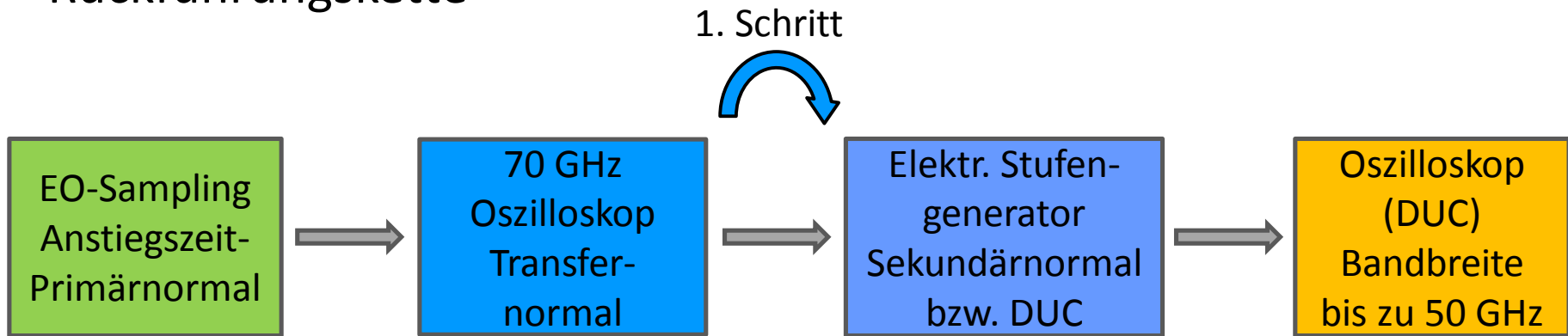
■ Korrekturfaktor-Methode



■ Korrekturfaktor-Methode



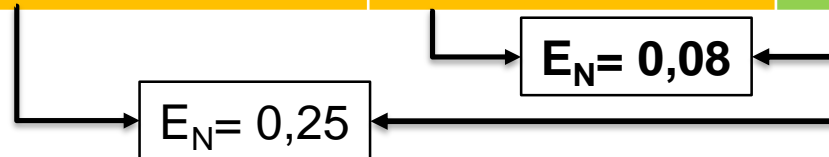
■ Rückführungskette



- **TransfERNormal: Oszilloskop-Samplingkopf mit 70 GHz Bandbreite**
 - Anstiegszeit: $t_r = 4,6 \text{ ps} \pm 0,7 \text{ ps}$ ($k=2$)
- **elektr. Stufengenerator**
 - Sekundärnormal
 - kann auch Device under calibration (DUC) sein
- **Oszilloskop-Samplingkopf (DUC) mit bis zu 50 GHz Bandbreite**

Verifikation der Methoden

	RSS-Methode	Korrekturfaktor	EOS-Setup
1.) Stufengenerator, Sekundärnormal	5,6 ps ± 1,8 ps	6,5 ps ± 1,8 ps	
2.) Samplingkopf (50 GHz) Messwert	8,7 ps	8,7 ps	
2.) Samplingkopf (50 GHz)	6,5 ps ± 2,0 ps	7,2 ps ± 2,0 ps	7,03 ps ± 0,7 ps



- Nach 2 Stufen hebt sich Überkompensation der RSS-Methode teilweise wieder auf
- Korrekturfaktormethode liefert besser berechenbaren Unsicherheitsbeitrag für die Methode

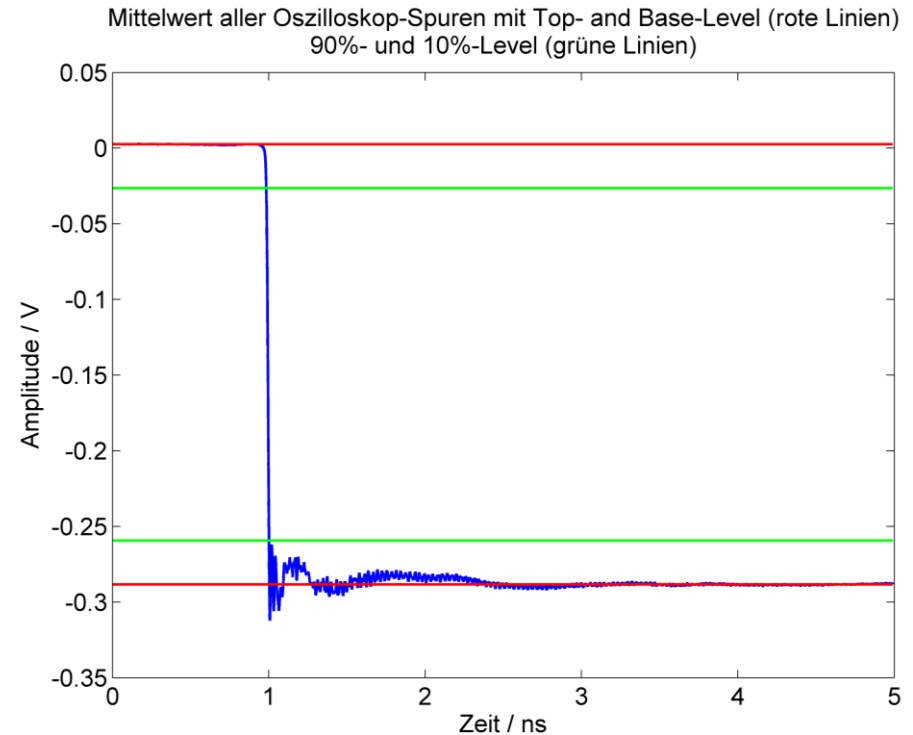
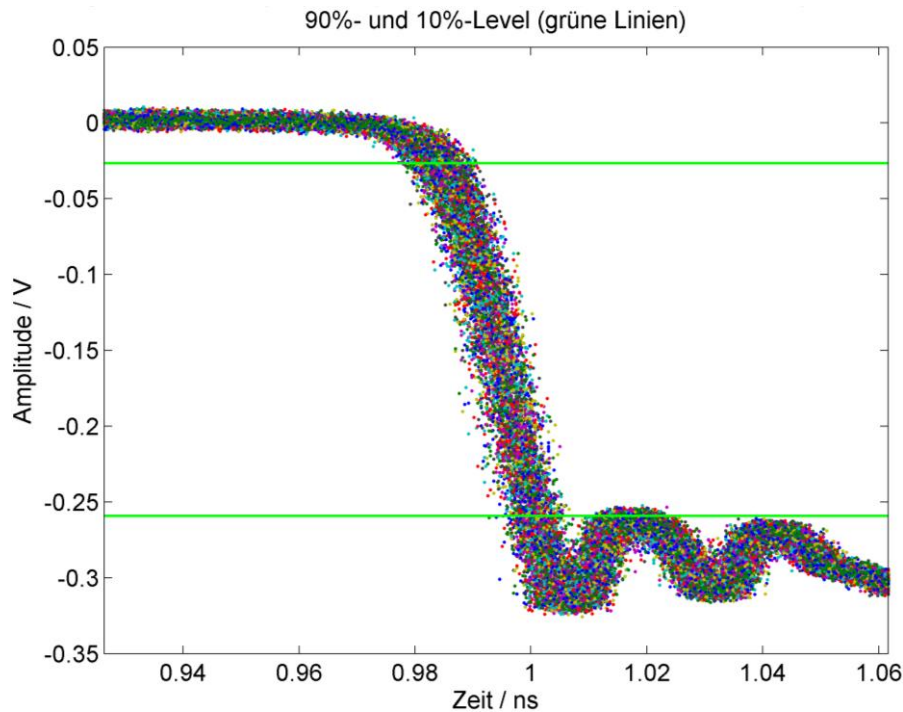
- PSPL 4015C (Ringvgl. Artefakt) an 2 Normalen unterschiedlicher Hersteller

	RSS-Methode	Korrekturfaktor	EOS-Setup
1.) Oszilloskop 1, Normal			4,6 ps ± 0,2 ps
2.) PSPL 4015C, Messwert	16,6 ps	16,6 ps	
3.) PSPL 4015C, Eigenanstiegszeit	15,9 ps	16,5 ps	

	RSS-Methode	Korrekturfaktor	EOS-Setup
1.) Oszilloskop 2, Normal			4,2 ps ± 0,3 ps
2.) PSPL 4015C, Messwert	17,0 ps	17,0 ps	
3.) PSPL 4015C, Eigenanstiegszeit	16,5 ps	16,9 ps	

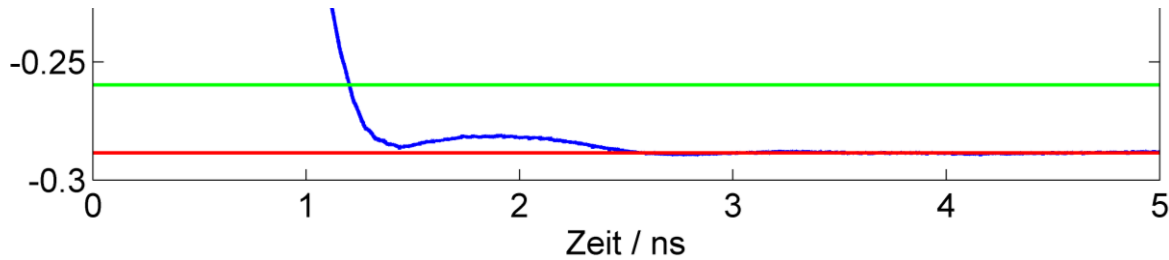
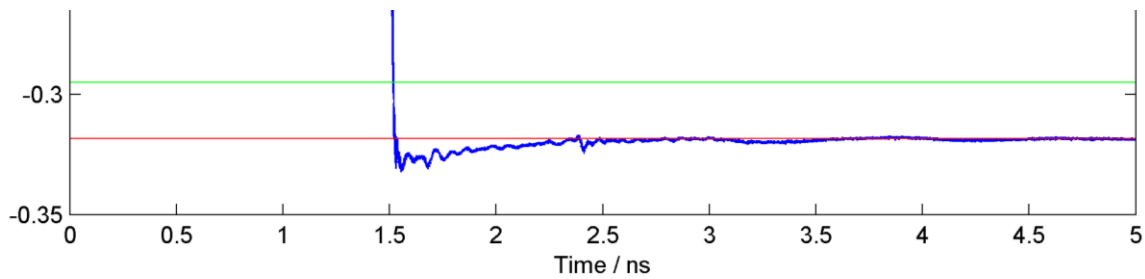
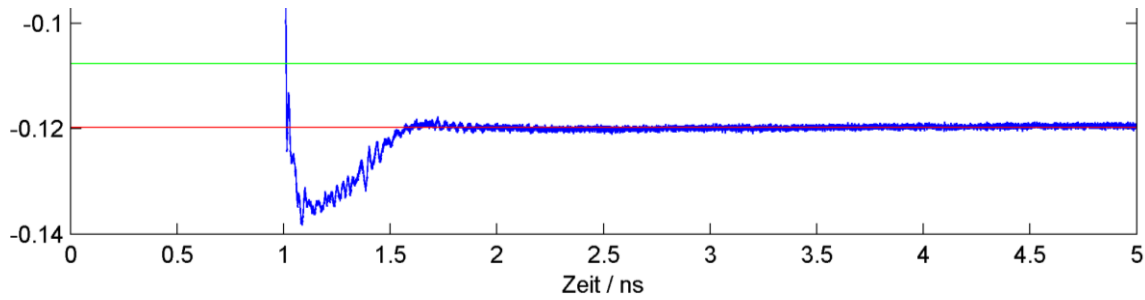
- Eigenschaften der Korrekturfaktormethode
 - Berücksichtigung der unbekanntem Antwortfunktionen mit Annahme einer Typ B Unsicherheit auf Basis der Standardabweichung
 - aus der Standardabweichung (Länge der Fehlerbalken) wird normalverteilte Typ B Unsicherheit berechnet
 - liefert besser berechenbaren Unsicherheitsbeitrag für verbleibenden systematischen Fehler als RSS-Methode

- Bestimmung der Referenzlevel (10% und 90%)



- Ergebnis abhängig vom gewählten Zeitfenster

- Bestimmung der Referenzlevel (10% und 90%)
 - Auswahl einiger Pulsverläufe



- Bandbreite
 - Durchgängig gute Resultate
- Dämpfung
 - Nur ein Ausreißer, sonst gute Ergebnisse
- Anstiegszeit
 - Ergebnisse nicht homogen, teilweise deutliche Ausreißer
 - → Hier ist mehr Aufmerksamkeit notwendig, z.B. genauere Definition der Messbedingungen
 - Entfaltung der Impulsantworten vermeidet systematischen Fehler durch Näherungsformel

- Dank an:

Rohde & Schwarz für die Bereitstellung des Oszilloskops

Allen Teilnehmern für die gute Kooperation und Abwicklung



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Dr. Kai Baaske

Telefon: 0531 592-2212

E-Mail: kai.baaske@ptb.de

www.ptb.de



Stand: 05/17

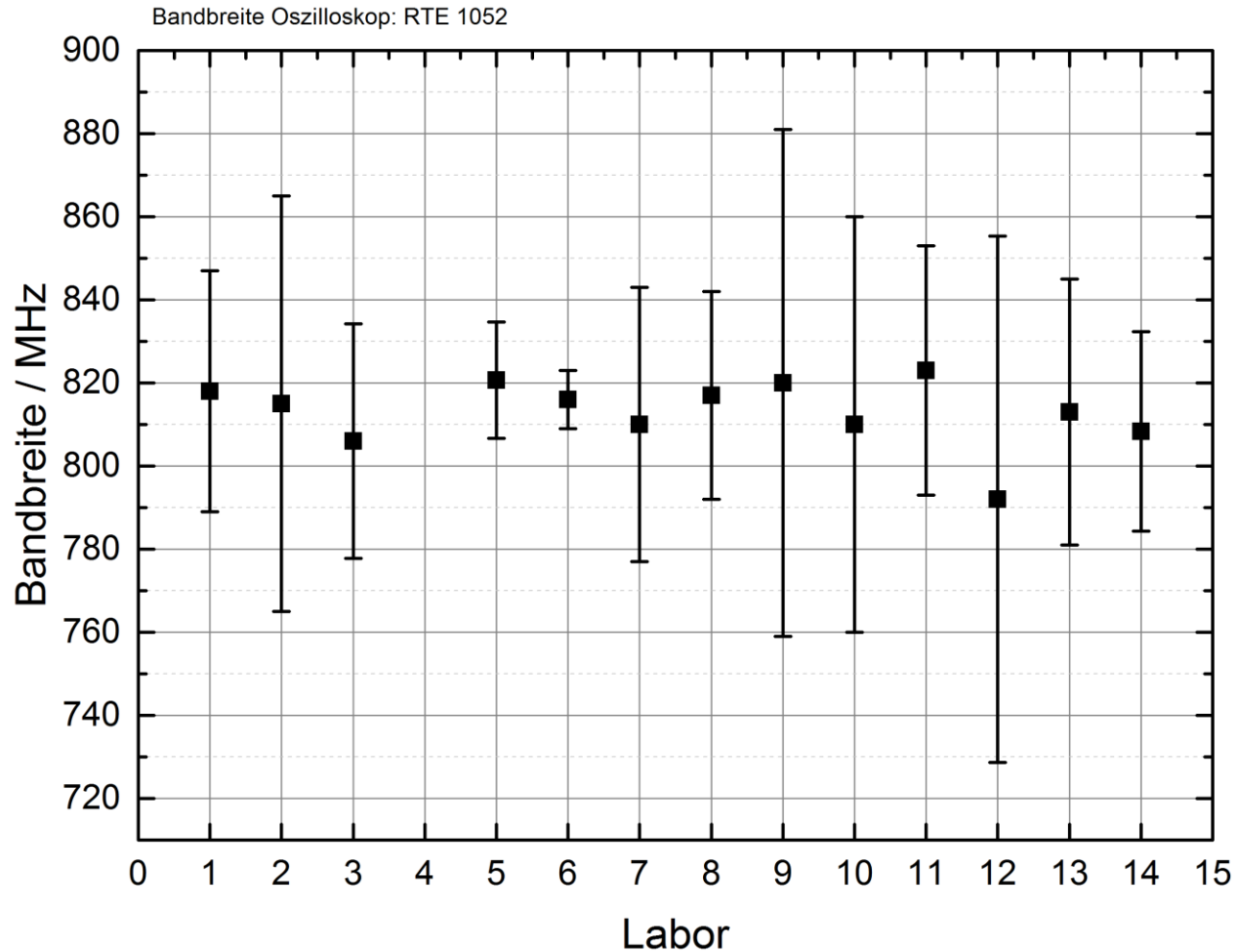


Anhang

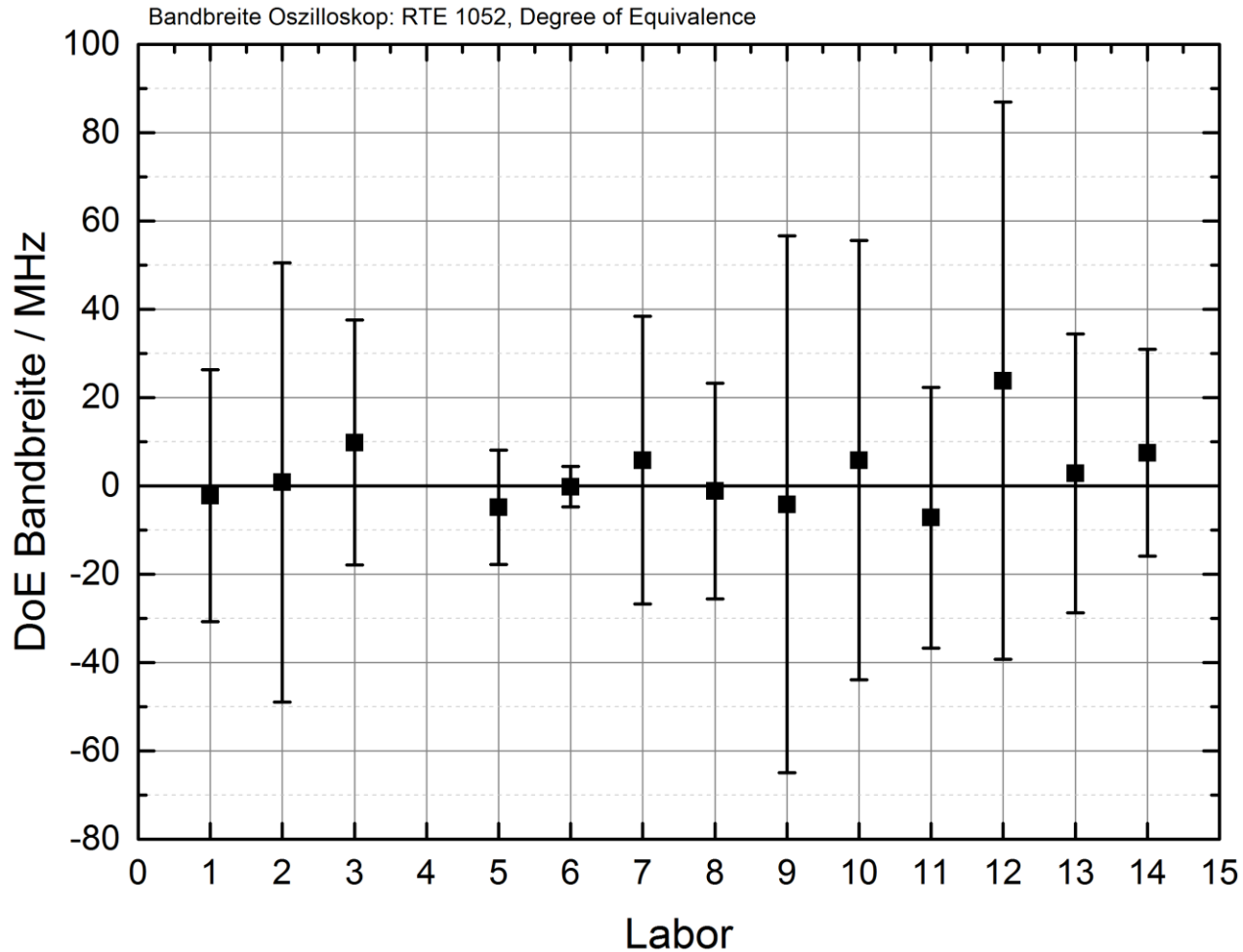
■ Tabellarische Übersicht:

Labor	Pulsgenerator						Oszilloskop										
	Anstiegszeit ohne Filter			Anstiegszeit mit Filter			Anstiegszeit			Bandbreite				Dämpfung bei 500 MHz			
	t_r	$U(t_r)$	E_N	t_r	$U(t_r)$	E_N	t_r	$U(t_r)$	E_N	BW	$U(BW)$	DoE (BW)	$U(DoE)$	a	$U(a)$	DoE (a)	$U(DoE)$
ps	ps		ps	ps		ps	ps		MHz	MHz	MHz	MHz	dB	dB	dB	dB	
1							452	23	0,12	818	29	-2,18	28,51	0,57	0,12	-0,06	0,11
2	15,5	7	0,14	350,0	40	0,49	435	40	0,34	815	50	0,82	49,72	0,51	0,25	0,00	0,24
3	12,4	3	1,18	363,0	11	0,56	450	14	0,06	806	28,21	9,82	27,71	0,61	0,3	-0,10	0,30
4							428	28	0,71								
5	16,3	6,5	0,03	356,3	19,5	0,67	441,4	20	0,35	820,7	14	-4,88	12,96				
6				373,0	20	0,17	499	20	2,28	816	7	-0,18	4,57	0,53	0,1	-0,02	0,09
7				404,0	25	1,36	436	26	0,47	810	33	5,82	32,57	0,53	0,47	-0,02	0,47
8	12,2	4	0,98	348,9	9	2,10	441	11	0,56	817	25	-1,18	24,43	0,158	0,22	0,35	0,21
9	15,2	1,66	0,54	367,7	10,6	0,16	450,74	7,74	0,15	820	61	-4,18	60,77	0,56	0,41	-0,05	0,41
10										810	50	5,82	49,72	0,6	0,5	-0,09	0,50
11				367,0	20	0,13	448	30	0,03	823	30	-7,18	29,53	0,44	0,12	0,07	0,11
12	15,073	4,45	0,30				436	19,08	0,62	792	63,36	23,82	63,14				
13				410,0	30	1,34	440	20	0,41	813	32	2,82	31,56	0,55	0,26	-0,04	0,25
PTB	16,5	1,8	0	369,6	4	0	449	9	0,00	808	24	7,49	23,41	0,56	0,12	-0,05	0,11

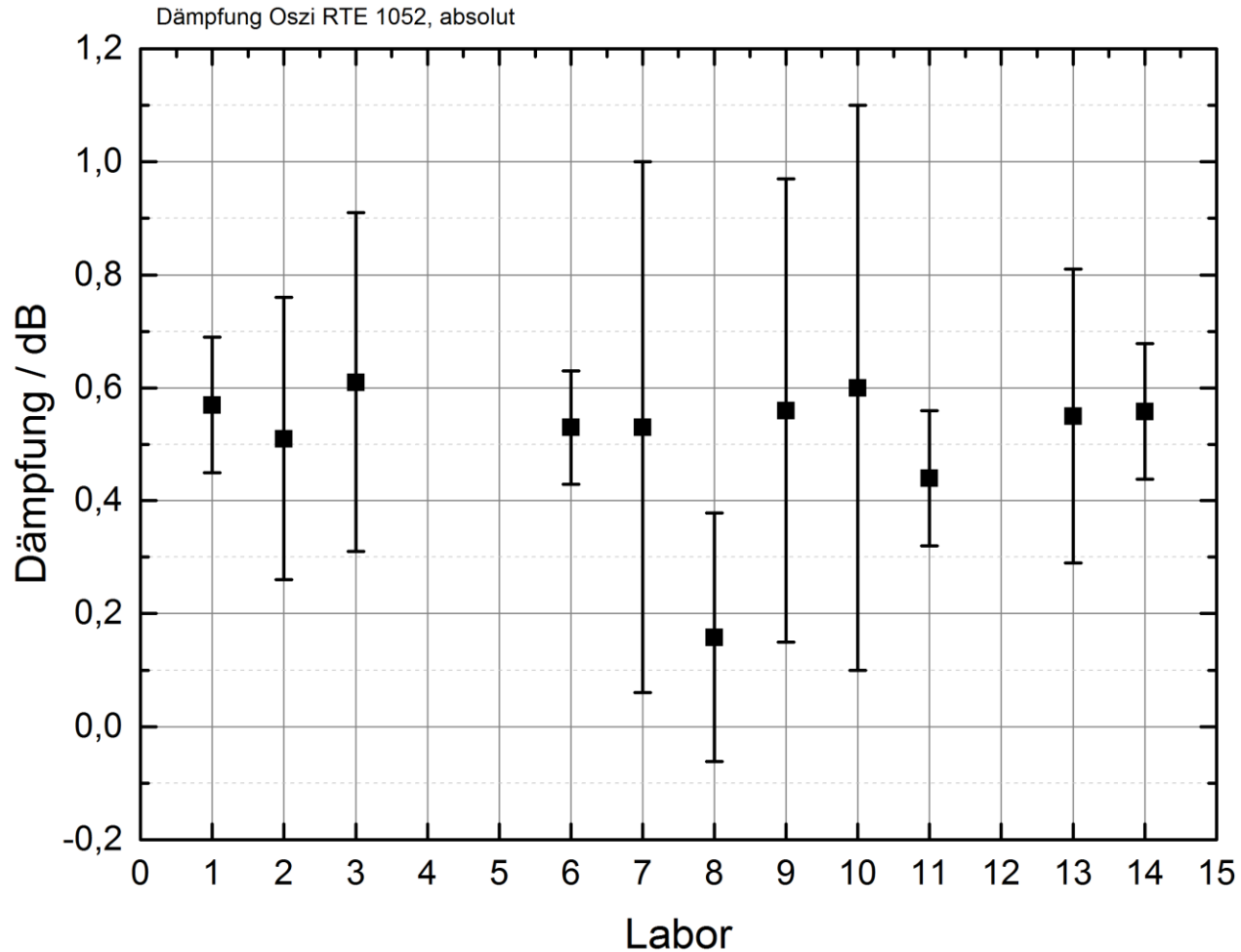
- Bandbreite Oszilloskop absolut:



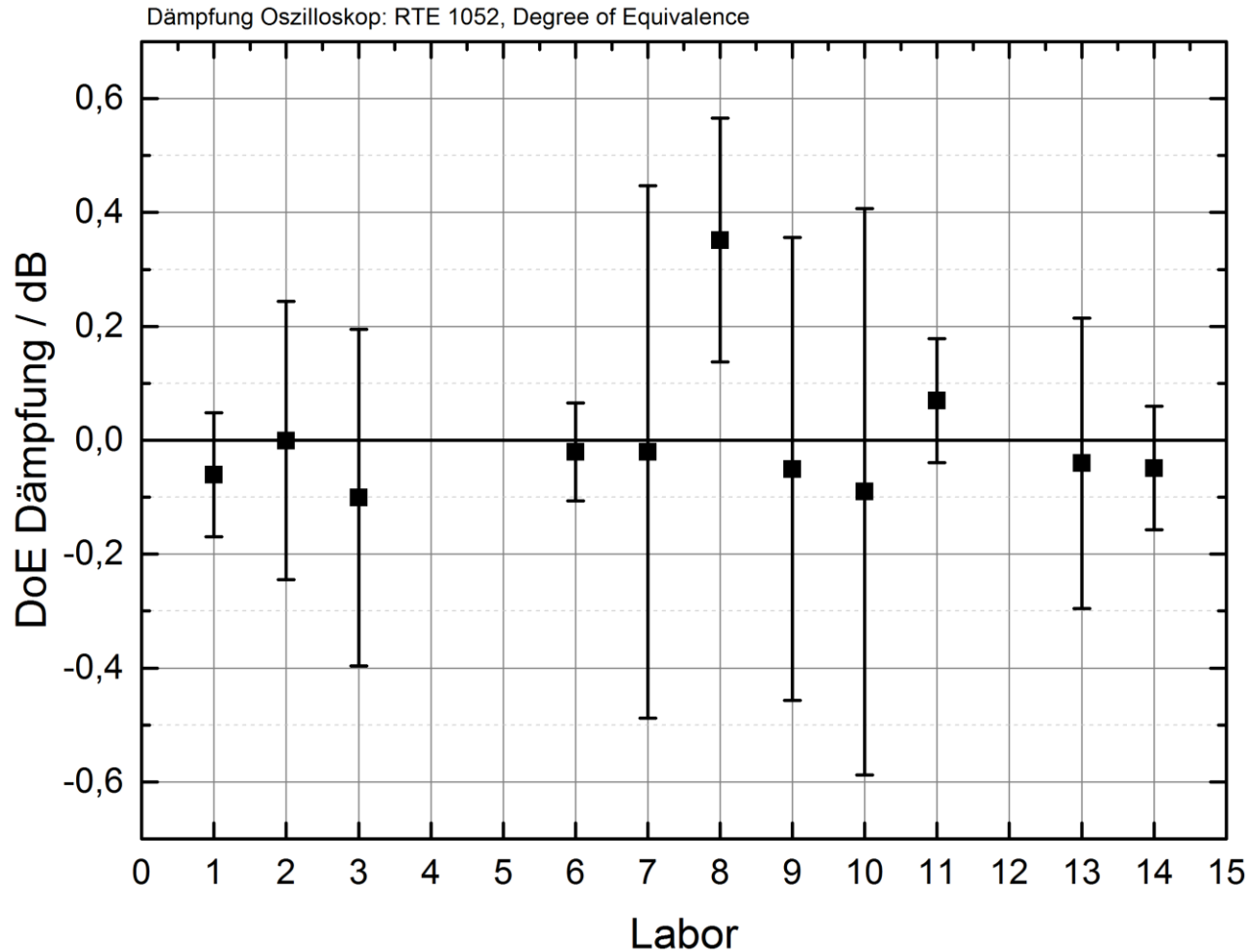
- Bandbreite Oszilloskop DoE:



- Dämpfung bei 500 MHz Oszilloskop absolut:



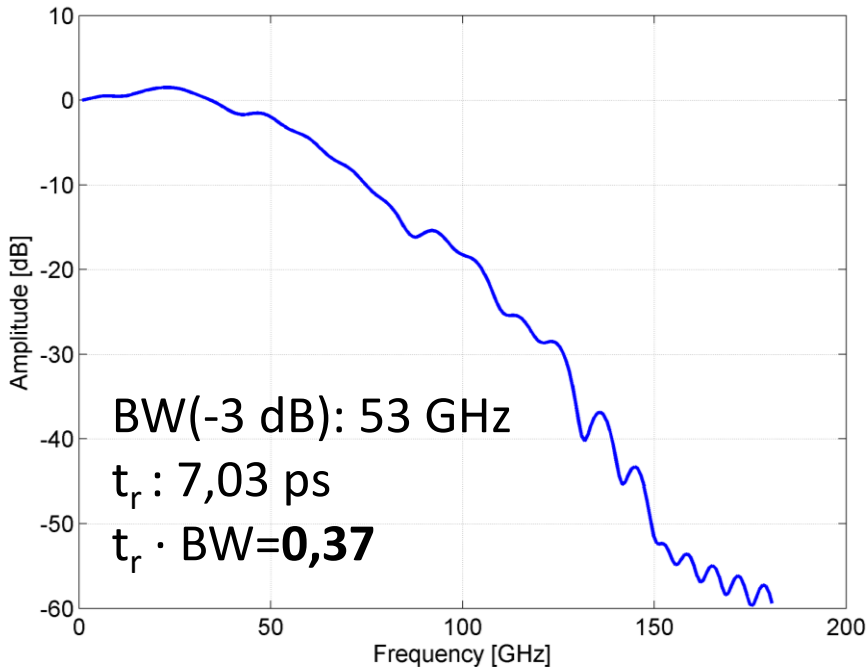
- Dämpfung bei 500 MHz Oszilloskop DoE:



- Vergleich der Übertragungsfunktionen von Samplingköpfen
 - Anhand Zeit-Bandbreite Produkt
 - Gaussförmige Übertragungsfunktion: $t_r \cdot BW = 0,34$

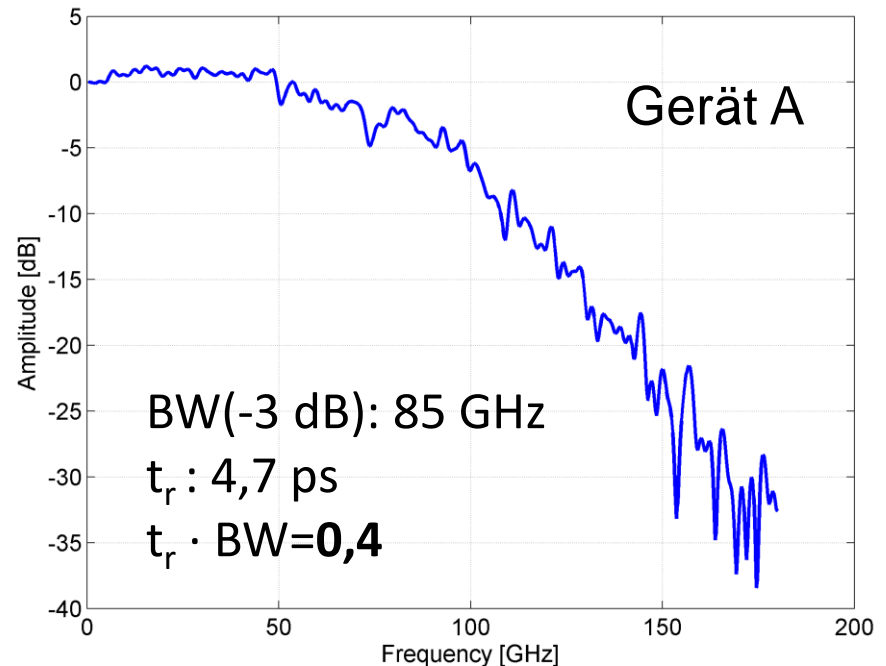
BW(nom.): 50 GHz

Transfer Funktion H(f) des Oszilloskopes,
-3 dB Bandbreite: 53 GHz



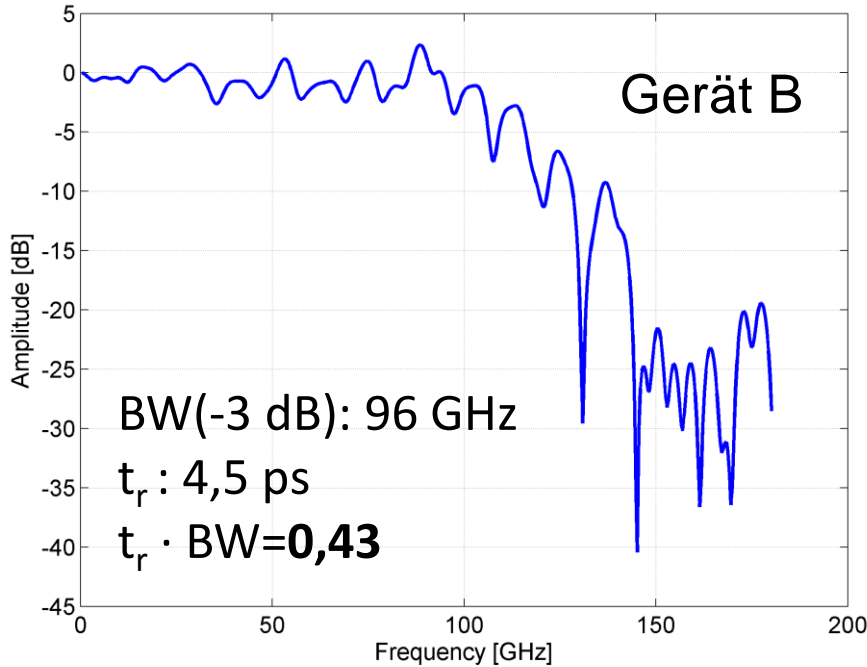
BW(nom.): 70 GHz

Transfer Funktion H(f) des Oszilloskopes,
-3 dB Bandbreite: 85 GHz



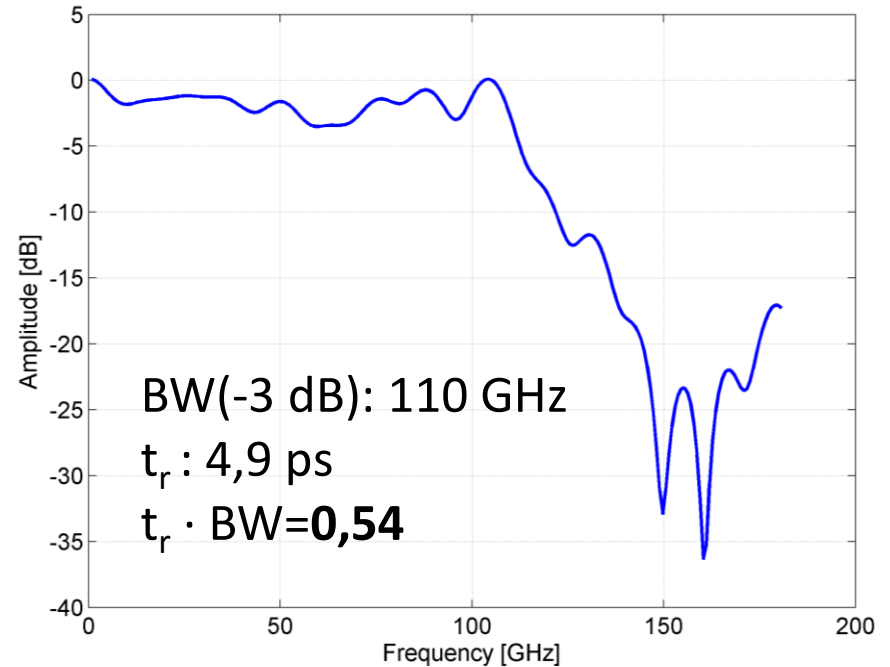
BW(nom.): 70 GHz

Transfer Funktion H(f) des Oszilloskopes,
-3 dB Bandbreite: 96 GHz



BW(nom.): 100 GHz

Transfer Funktion H(f) des Oszilloskopes,
-3 dB Bandbreite: 110 GHz



- Übertragungsfunktionen (Zeit-Bandbreite Produkte) von Samplingköpfen weichen deutlich von der Gaussform ab