

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



**DKD**

---

**Vergleichsbericht    Nationaler Ringvergleich  
DKD-V 2.4            Anstiegszeit  
Oktober 2015 - November 2016**

---

Ausgabe 10/2018

<https://doi.org/10.7795/550.20181102>



|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 2 / 37  |

## Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD sind Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkkS als Rechtsnachfolgerin des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

### Kontakt:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

DKD-Geschäftsstelle

Bundesallee 100 38116 Braunschweig

Postfach 33 45 38023 Braunschweig

Telefon Sekretariat: (05 31) 5 92-8021

Internet: [www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)

|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 3 / 37  |

*Zitiervorschlag für die Quellenangabe:*

*Vergleichsbericht DKD-V 2.4 Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit – Oktober 2015 - November 2016, Ausgabe 10/2018, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20181102*

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt und unterliegt der Creative Commons Nutzerlizenz CC by-nc-nd 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>). In diesem Zusammenhang bedeutet „nicht-kommerziell“ (NC), dass das Werk nicht zum Zwecke der Einnahmenerzielung verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden darf. Eine Nutzung seiner Inhalte für die gewerbliche Verwendung in Laboratorien ist ausdrücklich erlaubt.



Autor:

Dr.-Ing. Kai Baaske, Physikalisch-Technische Bundesanstalt,  
Fachbereich 2.2, Braunschweig

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) als Ergebnis der Zusammenarbeit der PTB mit dem Fachausschuss *Hochfrequenz und Optik* des DKD.

|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 4 / 37  |

## Vorwort

DKD-Vergleichsberichte verfolgen das Ziel, die Ergebnisse von Vergleichsmessungen offenzulegen, die im Rahmen des Deutschen Kalibrierdienstes organisiert, durchgeführt bzw. ausgewertet wurden. Sie enthalten zahlreiche Informationen über die Messfähigkeiten der teilnehmenden Kalibrierlaboratorien und die Vergleichbarkeit von Messungen. In den Vergleichsberichten wird die Sichtweise der Autoren wiedergegeben, die nicht notwendigerweise in allen Details der Sichtweise des Vorstands oder der Fachausschüsse des DKD entsprechen muss.

Die DKD-Vergleichsberichte sollen die im Vergleich untersuchten Aspekte und Ergebnisse der Kalibrierung darstellen und durch die Publikation im Rahmen des DKD der großen Gemeinschaft der Kalibrierlaboratorien national und international zugänglich machen.

Experten- und Vergleichsberichte müssen nicht vom Vorstand genehmigt werden (Beschluss auf der 5. DKD-Vorstandssitzung), sondern nur vom jeweiligen Fachausschuss und der Geschäftsstelle.

## Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Zusammenfassung</b> .....  | <b>6</b>  |
| <b>1 Organisation</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2 Transfernormale und Messfrequenzen</b> .....                   | <b>6</b>  |
| <b>3 Teilnehmer</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>4 Messgrößen</b> .....   | <b>8</b>  |
| 4.1 Pulsgenerator: .....  | 8         |
| 4.2 Oszilloskop: .....  | 9         |
| 4.3 Dokumentation der Messergebnisse .....                          | 9         |
| <b>5 Ablauf der Messung</b> .....                                   | <b>10</b> |
| 5.1 Kalibrierzeiten .....   | 10        |
| <b>6 Methoden der Kalibrierung</b> .....                            | <b>11</b> |
| 6.1 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig .....       | 11        |
| <b>7 Stabilität des Messobjektes</b> .....                          | <b>12</b> |
| 7.1 Stabilität der Messergebnisse.....                              | 12        |
| <b>8 Ergebnisse der Kalibrierlaboratorien</b> .....                 | <b>16</b> |
| 8.1 Tabellarische Übersicht .....                                   | 18        |
| 8.2 Diagramme der Messergebnisse .....                              | 19        |
| <b>9 Auswertung des Ringvergleiches</b> .....                       | <b>23</b> |
| <b>10 Technisches Protokoll</b> .....                               | <b>24</b> |
| 10.1 Stufenpulsgenerator .....                                      | 24        |
| 10.2 Oszilloskop .....  | 26        |
| 10.3 Adressenliste und Ansprechpartner.....                         | 30        |
| <b>11 Anhang</b> .....  | <b>32</b> |
| 11.1 Tabellarische Übersicht inkl. Nachmessungen .....              | 33        |
| 11.2 Diagramme unter Berücksichtigung der nachgemessenen Werte..... | 34        |

## Zusammenfassung

Es wurde ein nationaler Ringvergleich in der Messgröße „Anstiegszeit“ zwischen Oktober 2015 und November 2016 durchgeführt.

Ziel dieses nationalen Ringvergleiches war es, den durch die DAkkS akkreditierten Laboratorien eine Möglichkeit zur Teilnahme an Vergleichen zwischen Laboratorien (nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 Punkt 5.9.1) zu geben

Bei diesem Vergleich sollten die Anstiegszeiten eines Stufenpulsgenerators und eines Oszilloskopes, sowie von letzterem die Bandbreite und die Dämpfung bei 500 MHz bestimmt werden. Das Ergebnis zeigte für die meisten Teilnehmer eine gute Übereinstimmung mit den Referenzwerten.

## 1 Organisation

Der nationale Ringvergleich „Anstiegszeit“ wurde auf der 40. Sitzung des Fachausschusses „Hochfrequenz und Optik“ des Deutschen Kalibrierdienstes (DKD) am 30. April 2015 beschlossen. Die Organisation lag in den Händen der Arbeitsgruppe 2.21 „Elektromagnetische Felder und Antennenmesstechnik“ der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Hier wurden auch die Referenzmessungen des Vergleiches vorgenommen.

## 2 TransfERNormale und Messfrequenzen

Als Messobjekte des nationalen Ringvergleiches wurden ein Stufenpulsgenerator mit Dämpfungsglied und optionalem Tiefpassfilter sowie ein Oszilloskop verwendet:

### Messobjekt 1: **Stufenpulsgenerator**

Nominelle Anstiegszeit: 15 ps

Grundgerät: PSPL 4015C, S/N: 131 6/97

Verbindungskabel Grundgerät-Pulskopf: PSPL 5015-18, S/N: 355 5/97

Pulskopf: 4015 RPH, S/N: 155 (Konnektor: PC 3,5)

Dämpfungsglied: 03AS102-K30, S/N: 06572 (Konnektor: PC 3,5)

Hersteller: Picosecond Pulse Labs

### Option für längere Anstiegszeiten: **Tiefpassfilter**

Nominelle Anstiegszeit mit Filter: 350 ps

Low-Pass Risetime Filter: PSPL 5910-350, S/N: 353 6/98 (Konnektor: SMA)

Hersteller: Picosecond Pulse Labs

|           |         |
|-----------|---------|
| Ausgabe:  | 10/2018 |
| Revision: | 0       |
| Seite:    | 7 / 37  |

Messobjekt 2: **Oszilloskop**

Nominelle Bandbreite:  $\geq 500$  MHz

Nominelle Anstiegszeit:  $< 700$  ps

Oszilloskop: R&S RTE1052

Seriennummer: 100844

Hersteller: Rohde & Schwarz

Das Oszilloskop für diesen Vergleich wurde freundlicherweise von der Firma Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH, Memmingen, leihweise zur Verfügung gestellt, wofür wir uns, auch im Namen der beteiligten Kalibrierlaboratorien und des Deutschen Kalibrierdienstes, recht herzlich bedanken.

### 3 Teilnehmer

Für den Vergleich wurden die Mitglieder des DKD-Fachausschusses „Hochfrequenz und Optik“ angeschrieben. Insgesamt waren für die Messgröße „Anstiegszeit“ zu diesem Zeitpunkt (31. April 2015) 11 Kalibrierlaboratorien akkreditiert:

| Teilnehmer akkreditiert für:                    | Pulsgenerator     |                    |                    | Oszilloskop |          |
|---|-------------------|--------------------|--------------------|-------------|----------|
|   | Anstiegszeit      |                    |                    | Bandbreite  |          |
|   | $t_r=15\text{ps}$ | $t_r=350\text{ps}$ | $t_r<700\text{ps}$ | - 3 dB      | Dämpfung |
| Kalibrierzentrum Bayern, Egmanting              |                   |                    | x                  | x           | x        |
| GfM Gesellschaft für Metrologie mbH             |                   |                    |                    | x           | x        |
| Esz AG, Eichenau                                | x                 | x                  | x                  | x           | x        |
| Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH, Memmingen   | x                 | x                  | x                  | x           | x        |
| Testo industrial services GmbH, Kirchzarten     |                   | x                  | x                  | x           | x        |
| Trescal GmbH Niederlassung Darmstadt            |                   |                    | x                  | x           | x        |
| Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, Köln             |                   | x                  | x                  | x           | x        |
| Tektronix GmbH                                  | x                 | x                  | x                  | x           | x        |
| 1A CAL GmbH - Gesellschaft für Metrologie –     | x                 | x                  | x                  | x           | x        |
| DB Systemtechnik GmbH Kalibrier- und Prüfstelle |                   |                    | x                  | x           | x        |
| Atlas Copco Tools Central Europe GmbH, Kiel     |                   |                    | x                  | x           | x        |
| Kalibrierzentrum der Bundeswehr, Kiel           |                   |                    |                    |             |          |
| Atlas Copco Tools Central Europe GmbH, Wetzlar  |                   |                    |                    |             |          |

### 4 Messgrößen

#### 4.1 Pulsgenerator:

Anstiegszeit (10% - 90%)

- Ergebnis in ps mit erweiterter Messunsicherheit
- für kurze Anstiegszeit (ohne Filter), sofern die Geräteausstattung es ermöglicht

|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 9 / 37  |

- für lange Anstiegszeit (mit Filter), zusätzlich oder alleinige Messung
- Optional:
  - Angabe des Jitters der Anstiegszeit (mit Anzahl der zu Grunde liegenden Messungen)

## 4.2 Oszilloskop:

Anstiegszeit (10% - 90%)

- Messergebnis in ps.
- Optional mit Angabe der Standardabweichung.

Bandbreite

Es wird die Amplitude der einfallenden Spannung gemessen.

$$V_{inc} = \sqrt{P_{inc} \cdot Z_0}$$

Dabei ist  $V_{inc}$  die einfallende Spannung,  $P_{inc}$  die einfallende Leistung und  $Z_0$  die Bezugsimpedanz 50 Ohm.

Referenzfrequenz: 10 MHz

Messergebnisse:

1. Dämpfung der Spitzenamplitude bei 500 MHz in dB
2. Bandbreite  $B :=$  Frequenz bei 3-dB-Dämpfung der einfallenden Spannung.

## 4.3 Dokumentation der Messergebnisse

Um Fehler bei der Übertragung der Messergebnisse zu minimieren, wurden die Messergebnisse in einem Kalibrierschein oder in Tabellenform angeben, welche auch elektronisch übertragen werden konnten.

Folgende Angaben waren dazu notwendig:

- a. Anstiegszeit des Pulsgenerators ohne oder mit Tiefpassfilter
- b. Anstiegszeit des Oszilloskops
- c. Bandbreite (−3 dB Punkt)
- d. Dämpfung bei 500 MHz
- e. Kalibrierdatum,
- f. Datum und Unterschrift.

## 5 Ablauf der Messung

Die Kalibrierzeiten der einzelnen Kalibrierlaboratorien können der Tabelle 5.1 entnommen werden. Für die Dauer der Kalibrierung wurde je Kalibrierlaboratorium eine Woche veranschlagt. Hinzu kam ein Zeitraum von einer Woche für den Versand zum nächsten Teilnehmer.

### 5.1 Kalibrierzeiten

|   |                        | KW | Start (Mo) | Ende (Fr)  |
|---|------------------------|----|------------|------------|
| PTB   | <i>Vormessung</i>      | 39 | 21.09.2015 | 02.10.2015 |
| Kalibrierzentrum<br>Bayern (Atlas<br>Copco) | Egmating               | 41 | 05.10.2015 | 16.10.2015 |
| GfM   | Ottobrunn              | 43 | 19.10.2015 | 30.10.2015 |
| esz AG                                      | Eichenau               | 45 | 02.11.2015 | 13.11.2015 |
| Rohde & Schwarz                             | Memmingen              | 47 | 16.11.2015 | 27.11.2015 |
| Testo industrial<br>services                | Kirchzarten            | 49 | 30.11.2015 | 11.12.2015 |
| Trescal                                     | Darmstadt              | 1  | 04.01.2016 | 15.01.2016 |
| PTB   | <i>Zwischenmessung</i> | 3  | 18.01.2016 | 29.01.2016 |
| Rohde & Schwarz                             | Köln                   | 5  | 01.02.2016 | 12.02.2016 |
| Tektronix                                   | Köln                   | 7  | 15.02.2016 | 26.02.2016 |
| 1A Cal                                      | Kassel                 | 9  | 29.02.2016 | 11.03.2016 |
| DB Systemtechnik                            | Chemnitz               | 11 | 14.03.2016 | 24.03.2016 |
| Kalibrierzentrum Kiel<br>(Atlas Copco)      | Kiel                   | 13 | 29.03.2016 | 08.04.2016 |
| Kalibrierzentrum der<br>Bundeswehr          | Kiel                   | 15 | 11.04.2016 | 22.04.2016 |
| Atlas Copco                                 | Wetzlar                | 17 | 25.04.2016 | 04.05.2016 |
| PTB   | <i>Rückmessung</i>     | 19 | 09.05.2016 | 20.05.2016 |

**Tabelle 5.1.: Kalibrierzeiträume der Teilnehmer**

|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 11 / 37 |

## 6 Methoden der Kalibrierung

Generell erfolgt die Kalibrierung durch Vergleich der Anzeige- bzw. Nominalwerte des Kalibriergegenstandes mit den durch die Normale dargestellten Werten.

Die Kalibrierungen der Messgröße Anstiegszeit und Bandbreite basieren auf der Richtlinie VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 4, Kalibrieren von Messmitteln für elektrische Größen – Oszilloskope.

### 6.1 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Zum Start, in der Mitte und am Ende des Vergleiches wurde der Stufenpulsgenerator PSPL 4015C sowohl in der schnellen, als auch in der optional langsameren Konfiguration unter Verwendung des Tiefpassfilters mit einem Sampling Oszilloskop mit einer Eigenanstiegszeit von  $(4,6 \pm 0,9)$  ps vermessen. Die Anstiegszeit des RTE 1052 Oszilloskops als zweites Messobjekt wurde mit einem Stufenpulsgenerator mit einer Eigenanstiegszeit von  $(6,5 \pm 1,8)$  ps vermessen.

Für die Berechnung der Eigenanstiegszeit des Kalibrierobjektes wird ein zu der Richtlinie VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 4 abweichendes Verfahren angewendet. Dieses nutzt einen Korrekturfaktor, der aus dem Mittelwert einer Kurvenschar aus tabellierten Antwortfunktionen typischer Filterfunktionen wie Tschebyscheff, Butterworth und Bessel-Thompson mit Ordnungen von 2, 4 und 6 sowie deren gegenseitiger Faltungen berechnet wird. Als Motivation für diesen Ansatz dient die Tatsache, dass die modernen Oszilloskope und Pulsgeneratoren eine von der Gaußform deutlich abweichende Antwortfunktion aufweisen. Dadurch liefert die Berechnung der Eigenanstiegszeit mit Hilfe der geometrischen Addition der beteiligten Anstiegszeiten einen zunehmenden systematischen Fehler, wenn sich der Quotient aus der gemessenen Anstiegszeit und der des Normals der 1 annähert. Details zu diesem Verfahren sind an anderer Stelle zu finden<sup>1</sup>.

Für die Messungen der Bandbreite und der Dämpfung bei 500 MHz des Oszilloskops wurde ein NRV-Z51 Messkopf mit Powersplitter nach der Außenvergleichsmethode (direct comparison method) verwendet.

Die Umgebungsbedingungen lagen zu den Zeitpunkten der Kalibrierungen jeweils in den Intervallen  $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$  und  $(50 \pm 20)\%$  rel. Feuchte.

---

<sup>1</sup> tm – Technisches Messen, Volume 84, Issue 2, pp. 83, 2017.

## 7 Stabilität des Messobjektes

Im Verlauf des Ringvergleiches wurden die beiden Messobjekte insgesamt drei Mal von der PTB gemessen. Die Zeiten der Messungen können aus der Tabelle 5.1.: Kalibrierzeiträume der Teilnehmer entnommen werden.

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse dieser Messungen angegeben und somit die Stabilität des Messobjektes dargestellt. Aus der Auswertung im Abschnitt 7.1 geht hervor, dass sich die Messobjekte im Rahmen der Unsicherheiten nicht wesentlich geändert haben.

### 7.1 Stabilität der Messergebnisse

Tabelle 7.1: Stabilität der Messergebnisse

| Messgröße                |       | Vormessung |          | Zwischenmessung |          | Endmessung |          | Mittelwerte |          |
|--------------------------|-------|------------|----------|-----------------|----------|------------|----------|-------------|----------|
|                          |       | $K_1$      | $U(K_1)$ | $K_2$           | $U(K_2)$ | $K_3$      | $U(K_3)$ | $K_4$       | $U(K_4)$ |
| Anstiegszeit PG kurz     | (ps)  | 16,8       | 1,8      | 16,2            | 1,8      | 16,5       | 1,8      | 16,5        | 1,8      |
| Anstiegszeit PG lang     | (ps)  | 370        | 4        | 370             | 4        | 369        | 4        | 370         | 4        |
| Anstiegszeit Oszilloskop | (ps)  | 448        | 9        | 451             | 9        | 448        | 9        | 449         | 9        |
| Bandbreite Oszilloskop   | (MHz) | 808        | 24       | 807             | 24       | 810        | 24       | 808         | 24       |
| Dämpfung Oszilloskop     | (dB)  | 0,59       | 0,12     | 0,56            | 0,12     | 0,54       | 0,12     | 0,56        | 0,12     |

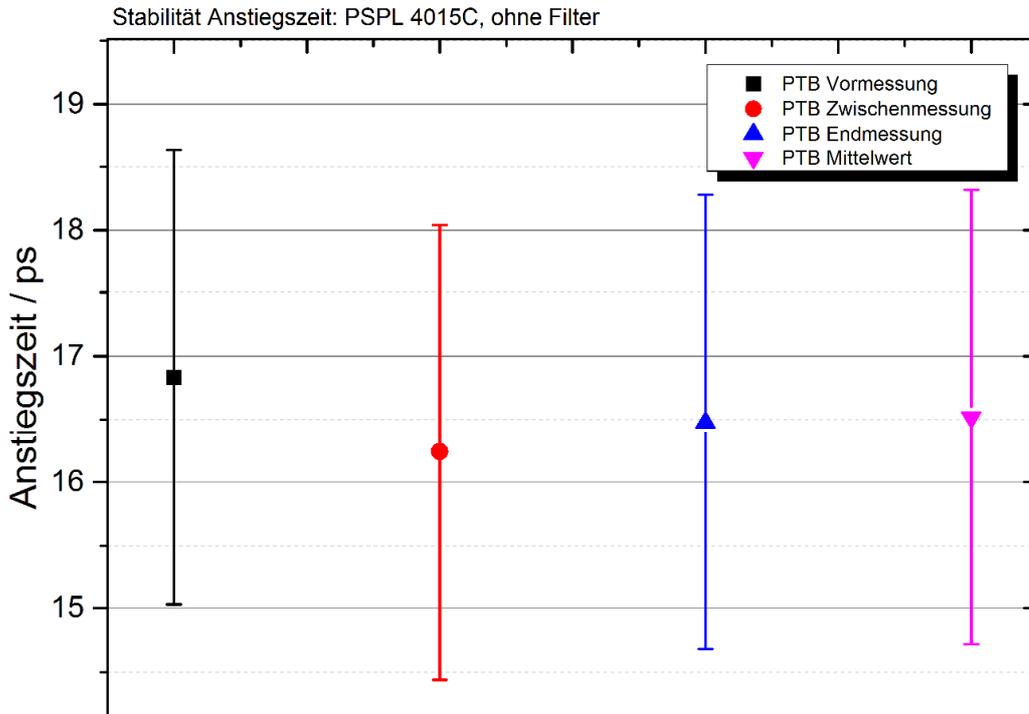


Abbildung 7.1.1: Stabilität der Messergebnisse der kurzen Anstiegszeit des Stufenpulsgenerators

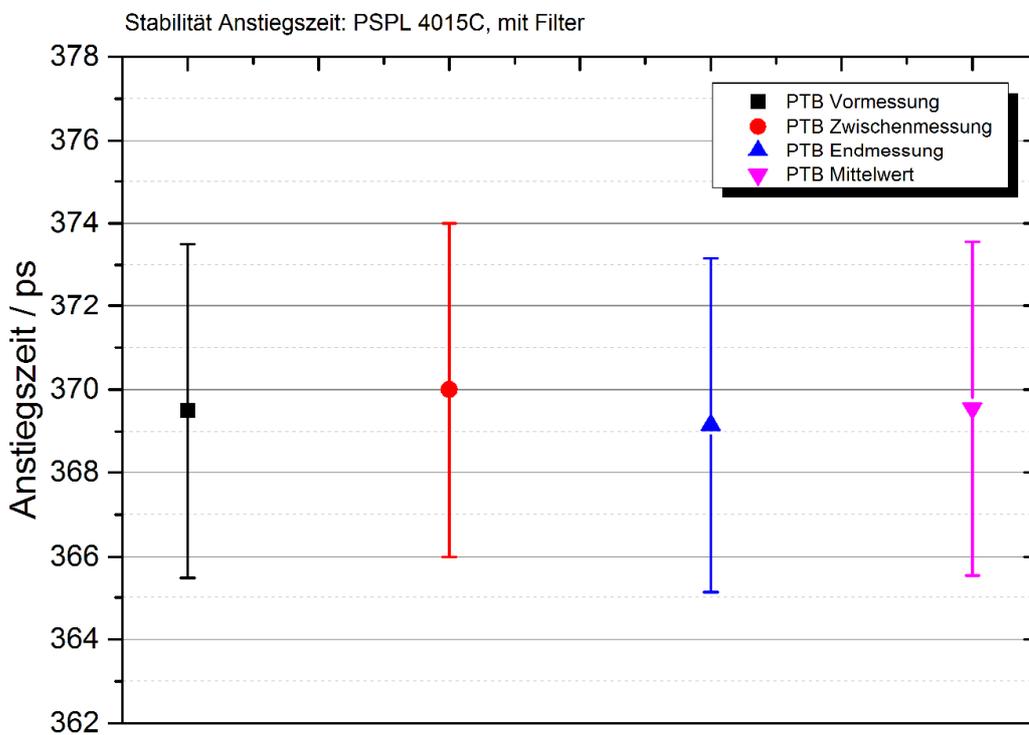
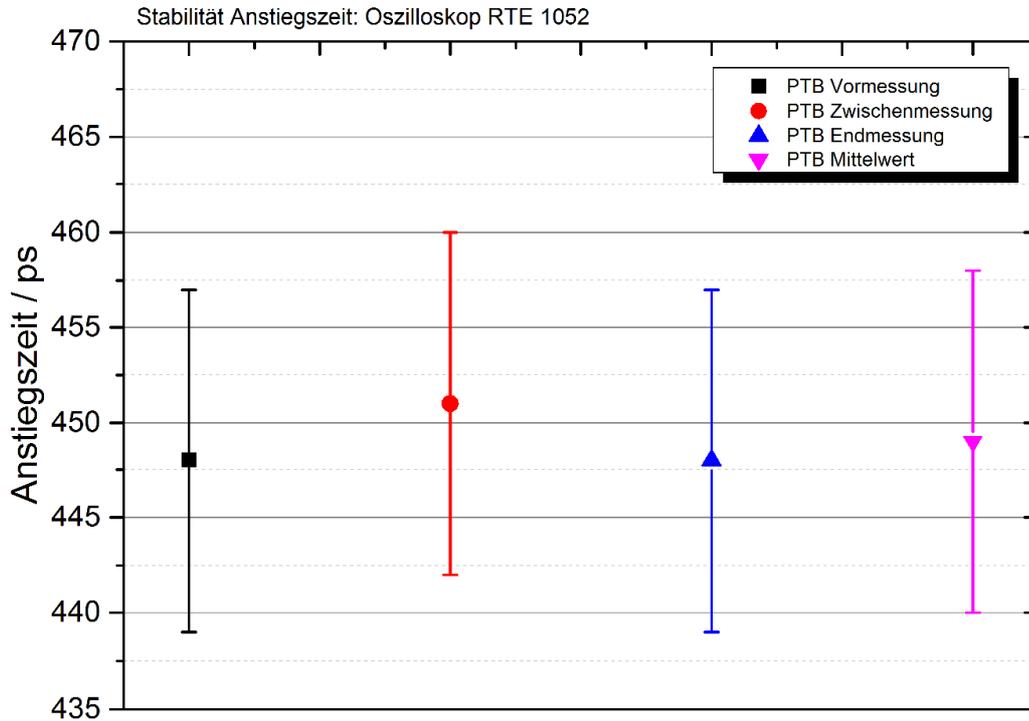
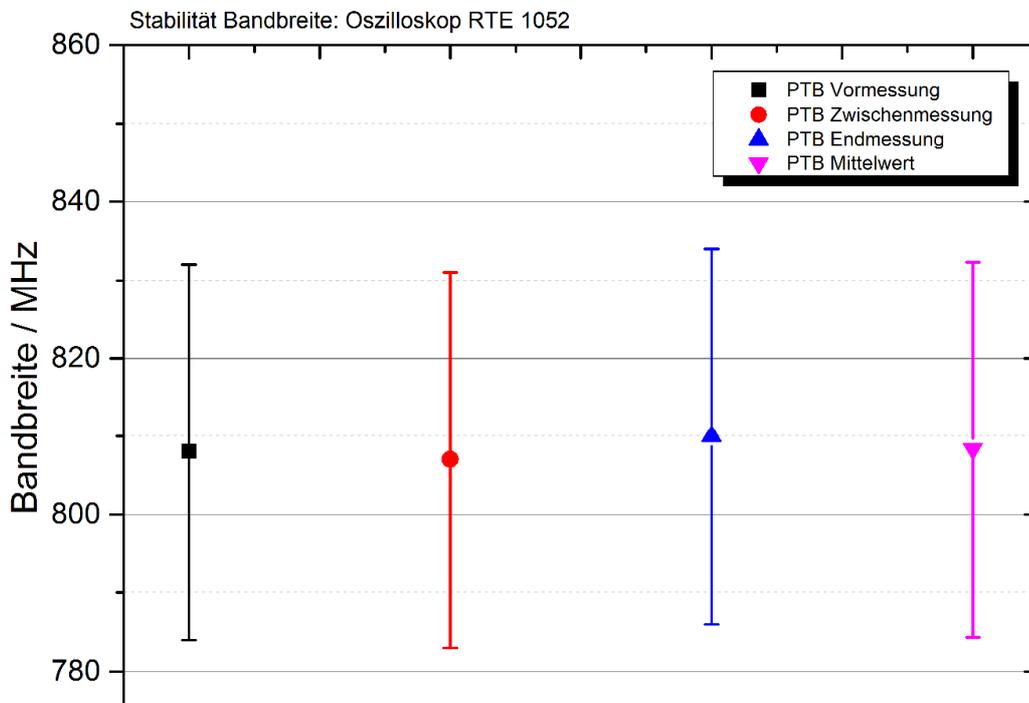


Abbildung 7.1.2: Stabilität der Messergebnisse der langen Anstiegszeit des Stufenpulsgenerators



**Abbildung 7.1.3: Stabilität der Messergebnisse der Anstiegszeit des Oszilloskops**



**Abbildung 7.1.4: Stabilität der Messergebnisse der Bandbreite des Oszilloskops**

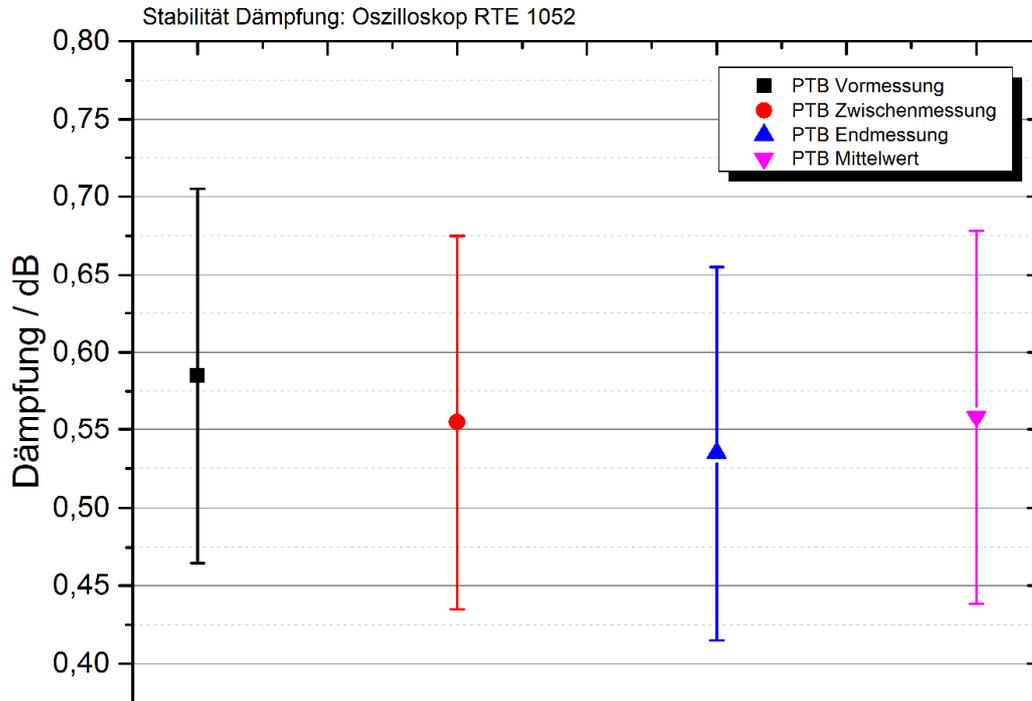


Abbildung 7.1.5: Stabilität der Messergebnisse der Dämpfung des Oszilloskops

## 8 Ergebnisse der Kalibrierlaboratorien

Im diesem Abschnitt 8 sind die Messergebnisse für jedes Kalibrierlaboratorium tabellarisch zusammengefasst.

Wie bei Vergleichen üblich, wurde zur Auswertung der  $E_N$ -Wert bestimmt<sup>2</sup>. Dieser wurde bei den Messergebnissen der Anstiegszeiten angewendet.

Der  $E_N$ -Wert ist ein in den Vergleichsmessungen der EA (European Cooperation for Accreditation), dem früheren EAL (European Co-operation for Accreditation of Laboratories), angegebener Gütefaktor.

Dieser Wert wird wie folgt berechnet:

$$E_N = \frac{K_{\text{Lab}} - K_{\text{Ref}}}{\sqrt{U(K_{\text{Lab}})^2 + U(K_{\text{Ref}})^2}} \quad (1)$$

Darin sind:

$K_{\text{Lab}}$  : Messwert des teilnehmenden Kalibrierlaboratoriums

$K_{\text{Ref}}$  : Referenzmesswert der PTB

$U(K_{\text{Lab}})$  : Erweiterte Messunsicherheit des Kalibrierungsfaktors des Kalibrierlaboratoriums

$U(K_{\text{Ref}})$  : Erweiterte Messunsicherheit des Referenzmesswertes der PTB

Als Referenzmesswert der PTB wurde der arithmetische Mittelwert der drei Messungen der PTB bestimmt. Als erweiterte Messunsicherheit des Referenzmesswertes wurde aufgrund der Korrelationen der Messwerte die minimale Unsicherheit aus den drei Messunsicherheiten der PTB benutzt.

Werte  $-1 \leq E_N \leq 1$  sind ein akzeptables Ergebnis. Ist der Faktor größer, so müssen Korrektur- und Überwachungsmaßnahmen erfolgen.

Bei den Messgrößen Bandbreite und Dämpfung bei 500 MHz wurde die Auswertung mit Hilfe des Degree of Equivalence (DoE), der auf einem Comparison Reference Value (CRV) aufbaut, verwendet, da von keinem Labor ein Messergebnis als Referenzwert herangezogen wurde.

Diese Werte werden wie folgt berechnet<sup>3</sup>:

---

<sup>2</sup> EAL-P7 bzw. EA-2/03, EA Interlaboratory Comparison, 1996.

<sup>3</sup> M.G. Cox, The evaluation of key comparison data, Metrologia **39** (2002), 589-595

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

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

Hiermit wird ein Referenzwert mit beigeordneter Unsicherheit berechnet. Die Messergebnisse  $k_i$  der einzelnen Labore  $i$  werden mit angegebenen Messunsicherheiten gewichtet.

Der Degree-of-Equivalence-Wert mit Unsicherheit

$$DoE_i = CRV - k_i$$

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

gibt für jedes Kalibrierlabor die Übereinstimmung mit dem Referenzwert (CRV) an.

Auf den folgenden Seiten ist eine Zusammenfassung der  $E_N$ -Werte bzw. der DoE-Werte der Messergebnisse des Vergleiches dargestellt.

## 8.1 Tabellarische Übersicht

| Labor | Pulsgenerator            |                |       |                         |                |       | Oszilloskop  |                |            |           |                      |                 |               |         |            |               |              |      |  |
|-------|--------------------------|----------------|-------|-------------------------|----------------|-------|--------------|----------------|------------|-----------|----------------------|-----------------|---------------|---------|------------|---------------|--------------|------|--|
|       | Anstiegszeit ohne Filter |                |       | Anstiegszeit mit Filter |                |       | Anstiegszeit |                | Bandbreite |           | Dämpfung bei 500 MHz |                 |               |         |            |               |              |      |  |
|       | $t_r$<br>ps              | $U(t_r)$<br>ps | $E_N$ | $t_r$<br>ps             | $U(t_r)$<br>ps | $E_N$ | $t_r$<br>ps  | $U(t_r)$<br>ps | $E_N$      | BW<br>MHz | U(BW)<br>MHz         | DoE (BW)<br>MHz | U(DoE)<br>MHz | a<br>dB | U(a)<br>dB | DoE (a)<br>dB | U(DoE)<br>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 |  |

Tabelle 8.1: Übersicht der Kalibrierergebnisse.

## 8.2 Diagramme der Messergebnisse

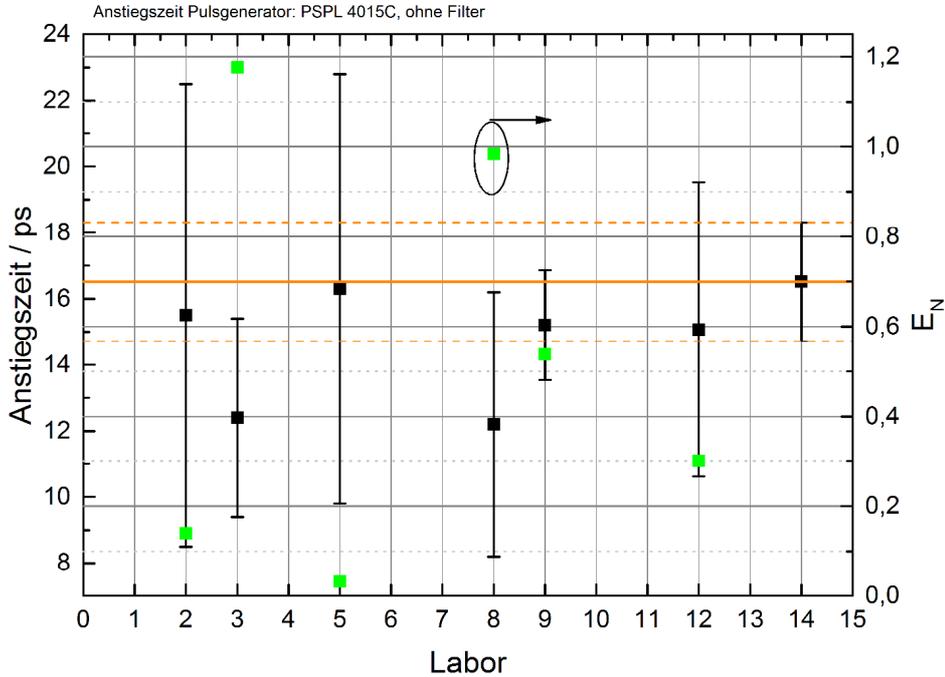


Abbildung 8.2.1: Messwerte der kurzen Anstiegszeit des Pulsgenerators und  $E_N$ -Werte bezogen auf den Messwert der PTB (durchgezogene, orangene Linie) und die  $k=2$  Unsicherheit (gestrichelt).

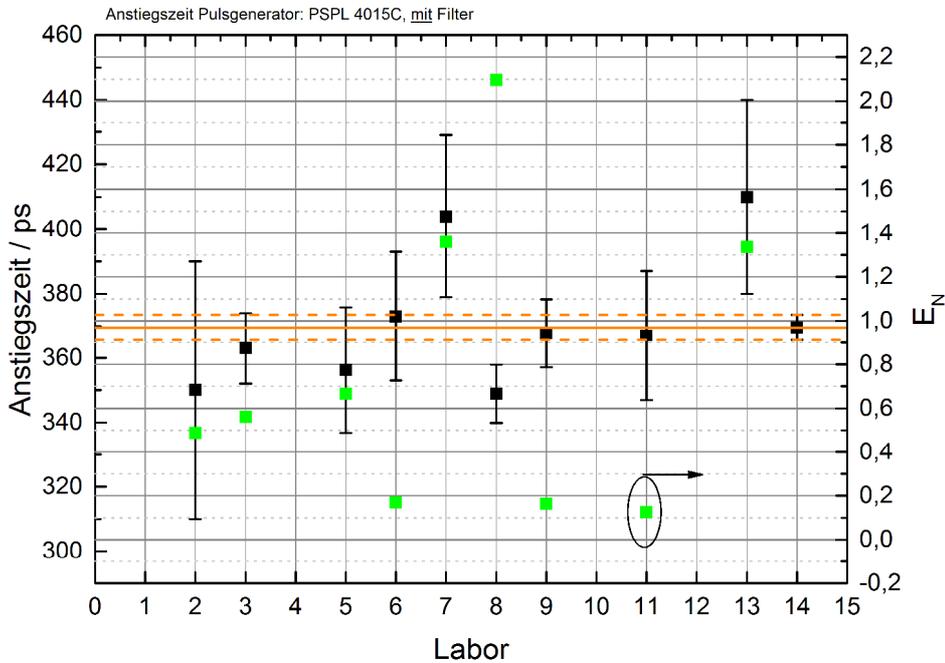
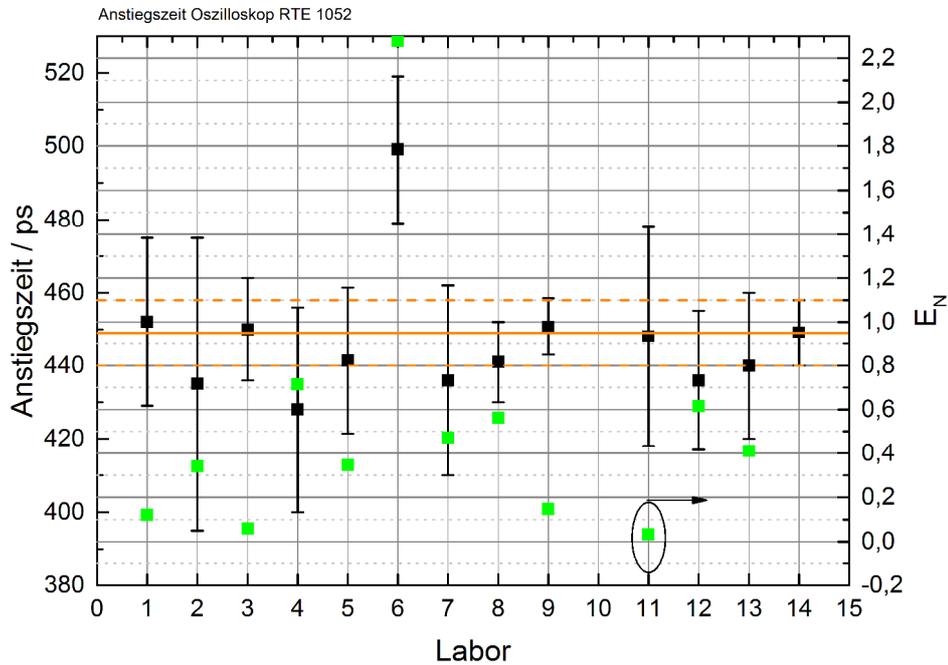
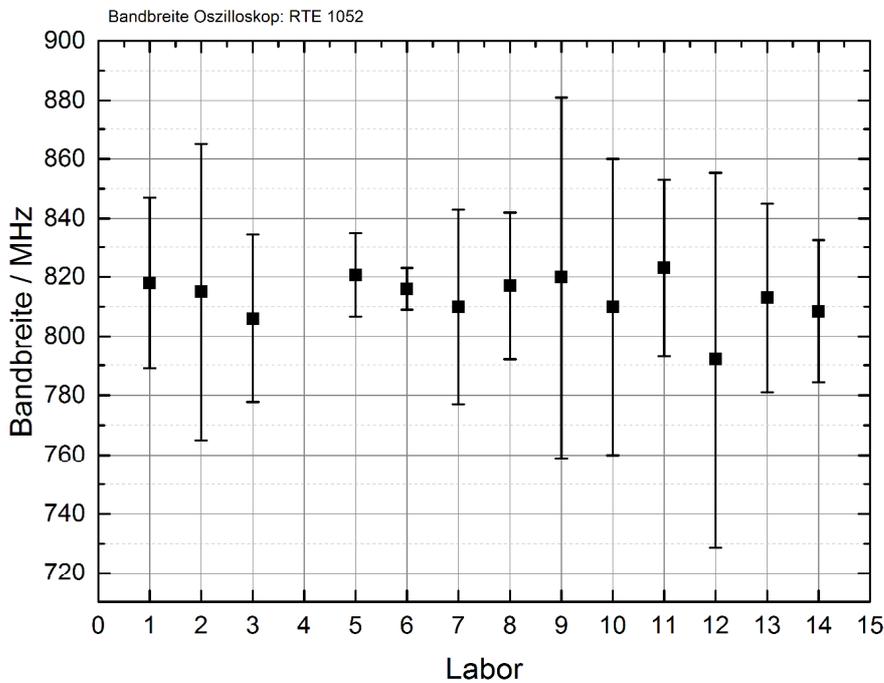


Abbildung 8.2.2: Messwerte der langen Anstiegszeit des Pulsgenerators und  $E_N$ -Werte bezogen auf den Messwert der PTB (durchgezogene, orangene Linie) und die  $k=2$  Unsicherheit (gestrichelt).



**Abbildung 8.2.3: Messwerte der Anstiegszeit des Oszilloskops und  $E_N$ -Werte bezogen auf den Messwert der PTB (durchgezogene, orangene Linie) und die  $k=2$  Unsicherheit (gestrichelt).**



**Abbildung 8.2.4: Messwerte der  $-3$  dB Bandbreite des Oszilloskops ( $k=2$ ).**

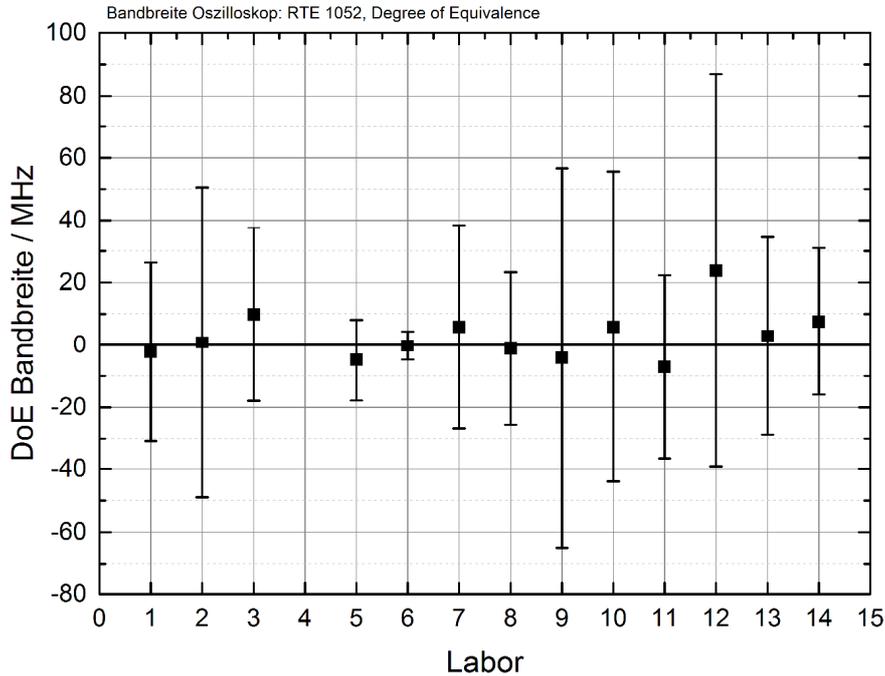


Abbildung 8.2.5: DoE-Werte der  $-3$  dB Bandbreite des Oszilloskops ( $k=2$ ).

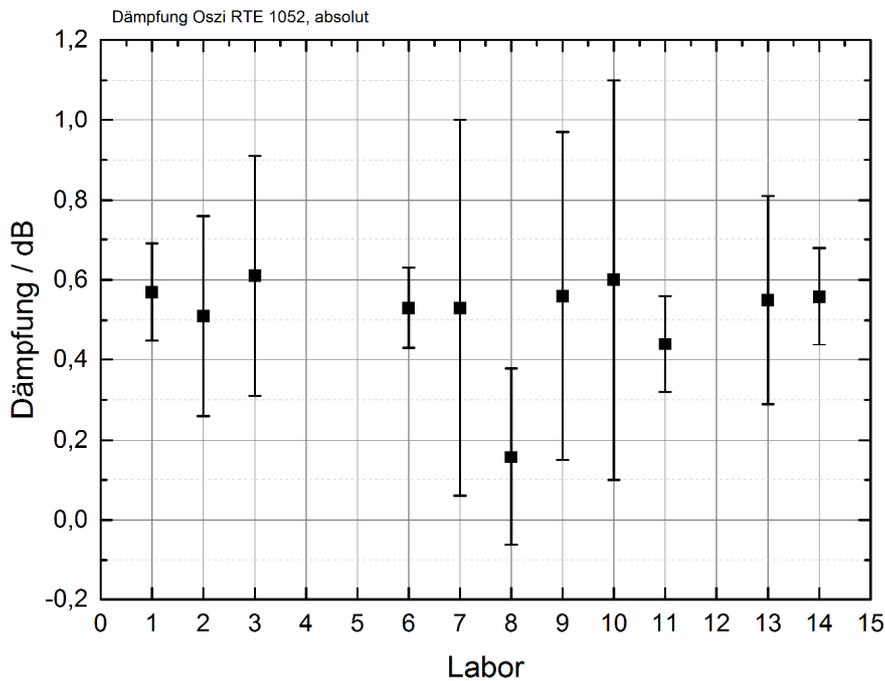
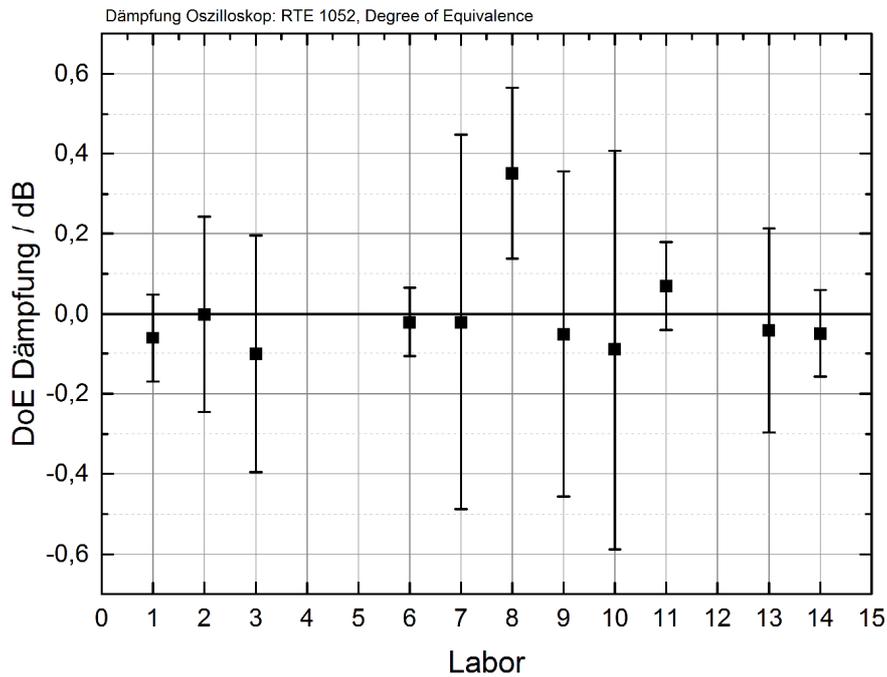


Abbildung 8.2.6: Messwerte der Dämpfung des Oszilloskops bei 500 MHz in Bezug auf 10 MHz des Oszilloskops ( $k=2$ ).



**Abbildung 8.2.7: DoE-Werte der Dämpfung des Oszilloskops bei 500 MHz in Bezug auf 10 MHz ( $k=2$ ).**

|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 23 / 37 |

## 9 Auswertung des Ringvergleiches

Dieser Nationale Ringvergleich für die Anstiegszeit hat gezeigt, dass bei einigen Laboren die angegebenen Messunsicherheiten zu gering sind.

Die  $E_N$ -Werte der kurzen Anstiegszeit des Pulsgenerators liegen bei fast allen Kalibrierlaboratorien unter 1. Nur bei einem Kalibrierlaboratorium liegt der  $E_N$ -Wert über 1.

Die  $E_N$ -Werte der langen Anstiegszeit des Pulsgenerators unter Verwendung des Tiefpassfilters liegen meistens unter 1. Drei Kalibrierlaboratorien liegen jedoch mit einem  $E_N$ -Wert mit bis zu 2,1 deutlich außerhalb des akzeptablen Bereiches.

Die  $E_N$ -Werte der Anstiegszeit des Oszilloskops liegen mit Ausnahme eines Labors deutlich unter 1. Ein Kalibrierlaboratorium liegt jedoch mit einem  $E_N$ -Wert mit bis zu 2,28 deutlich über der Grenze.

Bei der Bandbreite des Oszilloskops liegen alle Laboratorien mit ihren DoE-Werten im akzeptablen Bereich.

Bei der Dämpfung des Oszilloskops gemessen bei 500 MHz liegen alle Laboratorien mit einer Ausnahme mit ihren DoE-Werten im akzeptablen Bereich.

Alle Teilnehmer haben die Kalibrierzeiten sehr gut eingehalten und auch die Versendung der Normale funktionierte sehr gut. Die Rücksendung der Ergebnisberichte verlief weitgehend sehr schnell.

|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 24 / 37 |

## 10 Technisches Protokoll

### 10.1 Stufenpulsgenerator

#### Messanweisung für die Kalibrierung des Stufenpulsgenerators PSPL 4015C

Grundgerät: PSPL 4015C, S/N: 131 6/97

Verbindungskabel Grundgerät-Pulskopf: PSPL 5015-18, S/N: 355 5/97

Pulskopf:

- 4015 RPH, S/N: 155 (Konnektor: PC 3,5)

Dämpfungsglied:

- 03AS102-K30, S/N: 06572 (Konnektor: PC 3,5)

Anstiegszeit (inkl. Dämpfungsglied): < 20 ps

**Pulskopf und Dämpfungsglied bilden eine Einheit und werden nicht getrennt.**

Option für Anstiegszeiten ~ 350 ps – 400 ps

- Low-Pass Risettime Filter: PSPL 5910-350, S/N: 353 6/98 (Konnektor: SMA)
- Der optionale Risettime Filter kann hinter das Dämpfungsglied angeschlossen werden.

Warmlaufzeit: ca. 15 min.

#### Geräteeinstellung:

Einzustellende Rep. Rate: 50 kHz

- hierzu linker Drehschalter auf 500 kHz einstellen
- rechter Drehschalter an linken Anschlag (0,1) → ergibt eine Rep. Rate von 50 kHz
  - Anmerkung: bei diesem Gerät ist die Amplitude des Stufenpulses und damit auch etwas die Anstiegszeit abhängig von der Wiederholrate

Load coupling: DC

Verbindungskabel PSPL 5015-18 an „Driver Output, to RPH“

**Trigger Output:** $U_{ss} = 2,3 \text{ V}$  $Z = 50 \text{ Ohm}$ 

Duration: 80ns

Rise Time: 900 ps

Delay: 60 ns (d.h. der Stufenpuls ist um diese Zeit gegenüber dem Triggersignal verzögert)

Wenn der „Trigger Output“ genutzt werden soll, dann ein **10 dB Dämpfungsglied** einfügen, da sonst der Triggereingang des Oszilloskops Schaden nehmen könnte.

**Pulskopf:**

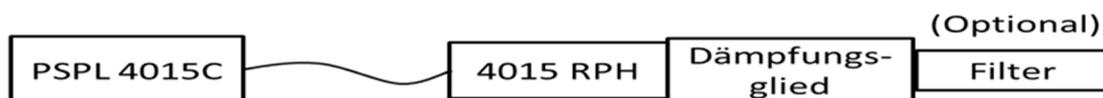
Negative Stufe, d.h. mit Anstiegszeit ist die negative Anstiegszeit (Abfallzeit) gemeint

Baseline: 0 V

Amplitude: -9 V (**ohne** Dämpfungsglied)

Amplitude mit 30 dB Dämpfungsglied: 300 mV

Setup:



- **Den Pulskopf nur bei ausgeschaltetem Grundgerät anschließen.**
- **Das Gerät niemals ohne gute Anpassung an 50 Ohm am Ausgang des Pulskopfes betreiben.**
- **Auf ESD-Schutzmaßnahmen achten.**

**Messung der Anstiegszeit (10% - 90%):**

Ergebnis in ps mit erweiterter Messunsicherheit

- für kurze Anstiegszeit (ohne Filter), sofern möglich
- für lange Anstiegszeit (mit Filter), zusätzlich oder alleinig

Optional:

- Angabe des Jitters der Anstiegszeit (mit Anzahl der zu Grunde liegenden Messungen)

Hinweis:

- Position der Messflanke, für die Bestimmung der Top-Base-Level des Stufenpulses
  - 5 ns Zeitfenster am Oszilloskop
  - 50%-Punkt der Flanke bei 1 ns (20% des Zeitfensters)
- je nach verfügbarer zeitlicher Auflösung des Oszilloskopes kann zur Bestimmung der Anstiegszeit ein deutlich kürzeres Zeitfenster als 5 ns unter Berücksichtigung der vorher ermittelten Top-Base-Level sinnvoll sein.

## 10.2 Oszilloskop

### Anweisungen und Tipps für die Kalibrierung des Oszilloskops R&S® RTE1052

Serialnummer: 100844

Im Zubehörkoffer:

- CD: User Documentation R&S® RTE Digital Oscilloscope
- Handbuch: R&S® RTE Digital Oscilloscope Getting Started
- Heft: Basic Safety Instructions

Die Anstiegszeit soll im Kanal 1 wie folgt bestimmt werden:

1. **Warmlaufphase**
2. **Self-Alignment**

Vor Start der Messungen nach Warmlaufphase: [Self-alignment](#) ausführen.

Hierzu bei [File](#) den Tab [Selfalignment](#) wählen.

### 3. Einstellungen am Oszilloskop:

|                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| Vertikale Ablenkung          | 200mV/div                        |
| Resolution                   | 1 pS                             |
| Referenzfrequenz             | intern                           |
| Horizontale Ablenkung        | frei wählbar, typisch 500 pS/div |
| Interpolation der Messpunkte | sin(x)/x                         |
| Pulslevel für Anstiegszeit   | 10/90                            |
| Channel 1                    | 50 $\square$ DC                  |
| Channel 1                    | BW: full                         |
| Trigger Setup                | frei wählbar, typisch C1         |
| Referenzfrequenz             | Intern                           |

#### 4. Messung der Anstiegszeit

Messergebnis in ps.

Optional mit Angabe der Standardabweichung.

#### 5. Messung der Bandbreite

Es wird die Amplitude der *einfallenden* Spannung gemessen.

$$V_{inc} = \sqrt{P_{inc} \cdot Z_0}$$

Dabei ist  $V_{inc}$  die einfallende Spannung,  $P_{inc}$  die einfallende Leistung und  $Z_0$  die Bezugsimpedanz 50 Ohm.

Referenzfrequenz: 10 MHz

Messergebnisse:

- 1) Dämpfung der Spitzenamplitude bei 500 MHz in dB.
- 2) Bandbreite  $B$  := Frequenz bei 3dB-Dämpfung der einfallenden Spannung.

Tipps:

Abspeichern der Messwerte zum Excel-Import als **csv**-Datei: S. Seite 72 in [RTE\\_GettingStarted](#).

Abspeichern von Oszilloskop-Messergebnissen. S. Seite 74 in [RTE\\_GettingStarted](#).

Einstellen von Oszilloskop-Messungen mit Statistik. S. Seite 55ff. in [RTE\\_GettingStarted](#).

- 1) Symbol  drücken und dann auf die Messkurve



- 2) Es erscheint

- 3) Auf den Icon  drücken.

- 4) Dann erscheint ein Setup Fenster (Bild 1). Hier können die Messwerte ausgewählt und aktiviert werden. Für die statistische Analyse empfiehlt sich das Aktivieren (**Enable**) der **Statistics**.

- 5) Für eine Einzelstartmessung kann die Anzahl der Messungen im Triggernummen eingestellt werden. z.B. Anzahl der Messungen gleich 100.

- 6) Unter **Reference Levels** kann man die Referenzlevel einstellen.

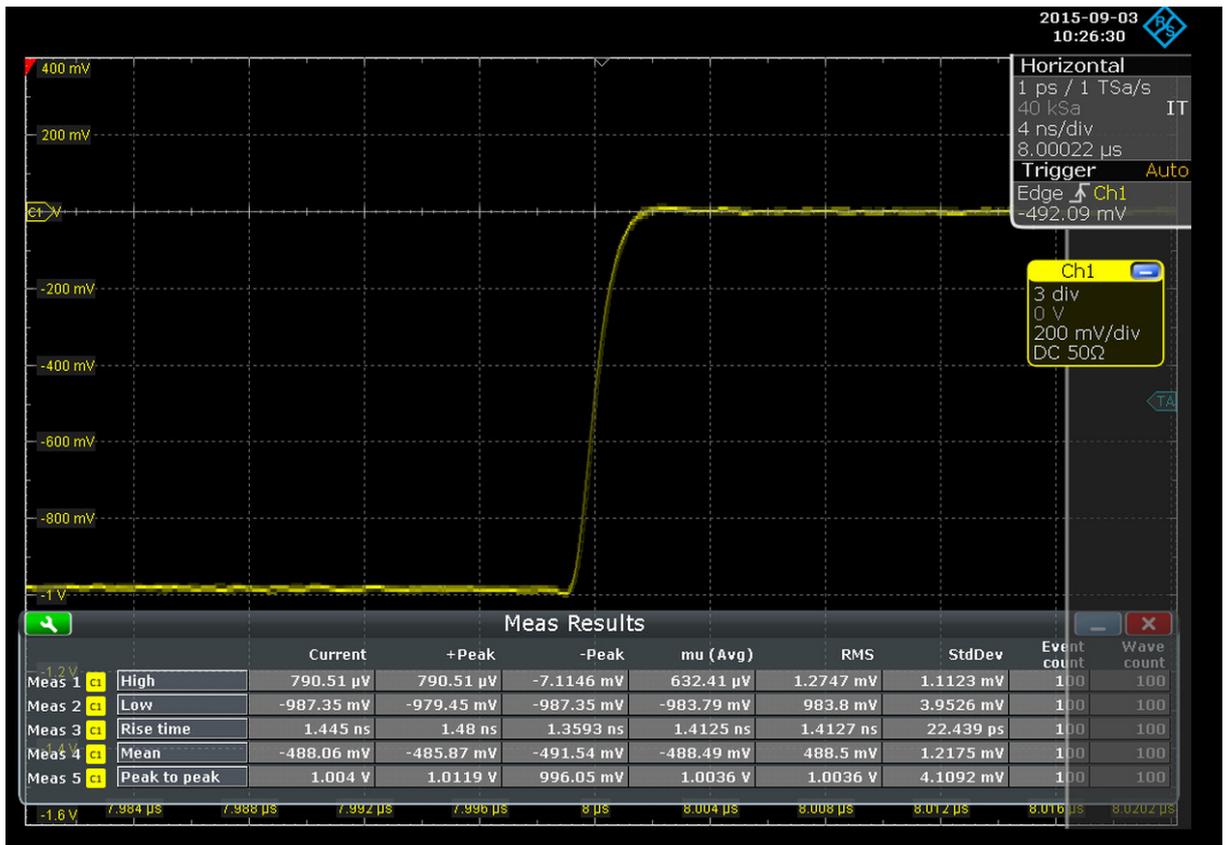
|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 28 / 37 |

7) Zum Beispiel kann die Anzeige der Messwerte, wie in Bild 2 gezeigt, aussehen (Die dargestellte Messung zeigt nicht die Anstiegszeit des Oszilloskops!!).

Bild 1)

| Name   | State                    | Src | 2nd src | Category | Measurement type |
|--------|--------------------------|-----|---------|----------|------------------|
| Meas 1 | <input type="checkbox"/> | C1  |         | Amp/Time | High             |
| Meas 2 | <input type="checkbox"/> | C1  |         | Amp/Time | Low              |
| Meas 3 | <input type="checkbox"/> | C1  |         | Amp/Time | Amplitude        |
| Meas 4 | <input type="checkbox"/> | C1  |         | Amp/Time | Max              |
| Meas 5 | <input type="checkbox"/> | C1  |         | Amp/Time | Min              |
| Meas 6 | <input type="checkbox"/> | C1  |         | Amp/Time | Peak to peak     |
| Meas 7 | <input type="checkbox"/> | C1  |         | Amp/Time | Mean             |
| Meas 8 | <input type="checkbox"/> | C1  |         | Amp/Time | RMS              |

Bild 2)



|   |  |           |         |
|---|--|-----------|---------|
|  | Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit<br>Oktober 2015 - November 2016<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20181102">https://doi.org/10.7795/550.20181102</a> | DKD-V 2.4 |         |
|   |  | Ausgabe:  | 10/2018 |
|   |  | Revision: | 0       |
|   |  | Seite:    | 30 / 37 |

### **10.3 Adressenliste und Ansprechpartner**

|  |  |
|--|--|
| Atlas Copco Tools Central Europe GmbH<br>Kalibrierzentrum Kiel<br>Bunsenstr. 4<br>24145 Kiel   | Arno Rowedder<br>A.Rowedder@kalibrierzentrum.de              |
| Atlas Copco Tools Central Europe GmbH<br>DAkKS-Kalibrierlabor<br>Friedenstraße 26<br>35578 Wetzlar   | Achim Schäfer<br>achim.schaefer@de.atlascopco.com            |
| DB Systemtechnik GmbH<br>Kalibrier- und Prüfstation<br>Emilienstraße 45<br>09131 Chemnitz  | Lutz Müller<br>lutz.l.mueller@deutschebahn.com               |
| esz AG calibration & metrology<br>Max-Planck-Straße 16<br>82223 Eichenau   | Bertram Krotz<br>B.Krotz@esz-ag.de                           |
| GfM Gesellschaft für Metrologie mbH<br>Lise-Meitner-Straße 6, RGB 1.4<br>85521 Ottobrunn   | Christian Rott<br>christian.rott@g-f-m.eu                    |
| Kalibrierzentrum Bayern<br>Keltenring 28<br>85658 Eggenstein   | Norbert Maier<br>office@kalibrierzentrum.de                  |
| Kalibrierzentrum der Bundeswehr<br>Regionales Kalibrierlabor 3<br>Klausdorfer Weg 2-24<br>24148 Kiel   | Karsten Thurow<br>KarstenThurow@bundeswehr.org               |
| Physikalisch-Technische Bundesanstalt<br>AG 2.21 - Elektromagnetische Felder und<br>Antennenmesstechnik<br>Bundesallee 100<br>38116 Braunschweig | Kai Baaske<br>kai.baaske@ptb.de                              |
| Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG<br>Graf Zeppelin-Straße 18<br>51147 Köln   | Bernhard Kistingner<br>bernhard.kistingner@rohde-schwarz.com |
| Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH<br>Rohde-und-Schwarz-Straße 1<br>87700 Memmingen  | Gerhard Rösel<br>gerhard.roesel@rohde-schwarz.com            |



Nationaler Ringvergleich Anstiegszeit  
Oktober 2015 - November 2016  
<https://doi.org/10.7795/550.20181102>

DKD-V 2.4

|           |         |
|-----------|---------|
| Ausgabe:  | 10/2018 |
| Revision: | 0       |
| Seite:    | 31 / 37 |

|  |   |
|--|---|
| Tektronix GmbH<br>Heinrich-Pesch-Straße 9-11<br>50739 Köln                       | Ralf Riedel<br>ralf.riedel@tektronix.com            |
| testo industrial services GmbH<br>Gewerbestraße 3<br>79199 Kirchzarten           | Eugen Sander<br>esander@testo.de                    |
| Trescal GmbH, Niederlassung Darmstadt<br>Borsigstraße 11<br>64291 Darmstadt      | Harald Würschig<br>harald.wuerschig@trescal.com     |
| 1A CAL GmbH - Gesellschaft für Metrologie<br>Falderbaumstraße 23<br>34123 Kassel | Karl-Peter Lallmann<br>karl-peter.lallmann@1acal.de |

## 11 Anhang

Die Auswertung der Messergebnisse in Abschnitt 8.2 hat gezeigt, dass die Messergebnisse einiger Labore bei unterschiedlichen Messgrößen zu  $E_N$ -Werten größer 1 oder nahe 1 führen. Diesen Laboren wurde im Vorfeld mitgeteilt, dass ihr erzielter  $E_N$ -Wert grenzwertig oder größer 1 ist. Ihnen wurde die Möglichkeit gegeben, die entsprechenden Messungen mit den vorher verwendeten TransfERNormalen erneut durchzuführen, um so ihre eigene Qualitätssicherung zu optimieren.

Im Folgenden sind die Messungen für die kurze und lange Anstiegszeit des Pulsgenerators, die Anstiegszeit des Oszilloskops sowie die Dämpfungsmessung bei 500 MHz unter Berücksichtigung der nachgemessenen Werte zur Information erneut ausgewertet.

## 11.1 Tabellarische Übersicht inkl. Nachmessungen

| Labor | Pulsgenerator            |                          |                |                      |                          |                         |                      |                          |                |                      | Oszilloskop              |                |           |              |                 |               |         |            |              |              |                      |  |  |  |  |
|-------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------------|--------------------------|----------------|-----------|--------------|-----------------|---------------|---------|------------|--------------|--------------|----------------------|--|--|--|--|
|       | Anstiegszeit ohne Filter |                          |                |                      |                          | Anstiegszeit mit Filter |                      |                          |                |                      | Anstiegszeit             |                |           |              |                 | Bandbreite    |         |            |              |              | Dämpfung bei 500 MHz |  |  |  |  |
|       | t <sub>r</sub><br>ps     | U(t <sub>r</sub> )<br>ps | E <sub>N</sub> | t <sub>r</sub><br>ps | U(t <sub>r</sub> )<br>ps | E <sub>N</sub>          | t <sub>r</sub><br>ps | U(t <sub>r</sub> )<br>ps | E <sub>N</sub> | t <sub>r</sub><br>ps | U(t <sub>r</sub> )<br>ps | E <sub>N</sub> | BW<br>MHz | U(BW)<br>MHz | DoE (BW)<br>MHz | U(DoE)<br>MHz | a<br>dB | U(a)<br>dB | DoE(a)<br>dB | U(DoE)<br>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     | 15,8                     | 3                        | 0,20           | 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                    | 449                  | 25                       | 0,00           | 816                  | 7                        | -0,18          | 4,57      | 0,53         | 0,1             | -0,02         | 0,09    |            |              |              |                      |  |  |  |  |
| 7     |                          |                          |                | 385,0                | 45                       | 0,34                    | 436                  | 26                       | 0,47           | 810                  | 33                       | 5,82           | 32,57     | 0,53         | 0,47            | -0,02         | 0,47    |            |              |              |                      |  |  |  |  |
| 8     | 13                       | 4,5                      | 0,73           | 350,9                | 12                       | 1,47                    | 441                  | 11                       | 0,56           | 817                  | 25                       | -1,18          | 24,43     | 0,454        | 0,21            | 0,07          | 0,20    |            |              |              |                      |  |  |  |  |
| 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    |                          |                          |                | 346,0                | 30                       | 0,78                    | 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    |            |              |              |                      |  |  |  |  |

Tabelle 11.1 Übersicht der Kalibrierergebnisse unter Berücksichtigung der Nachmessungen (gelb markiert).

## 11.2 Diagramme unter Berücksichtigung der nachgemessenen Werte

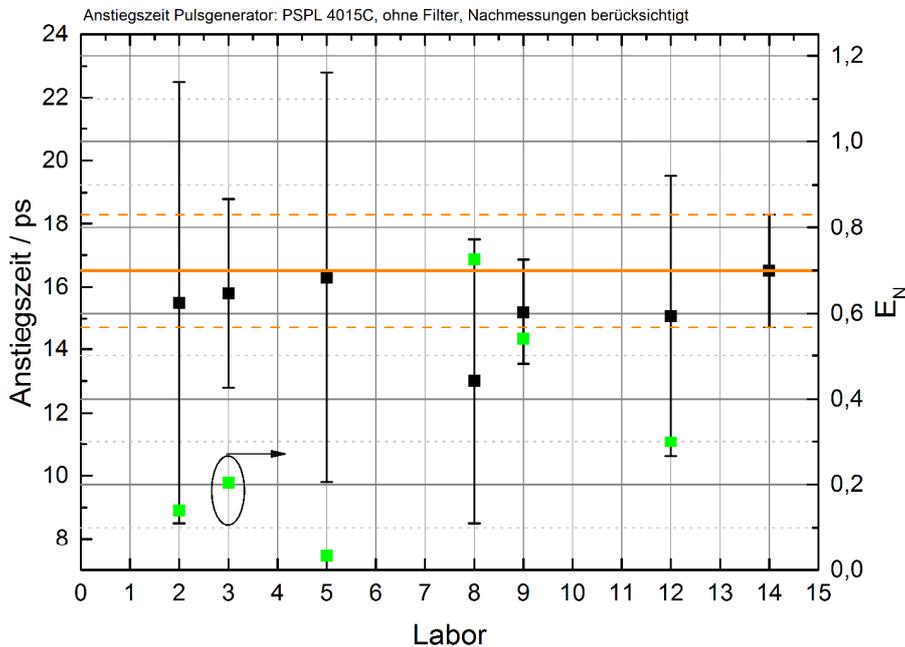


Abbildung 11.2.1: Auswertung der kurzen Anstiegszeit des Pulsgenerators unter Berücksichtigung der Nachmessungen und  $E_N$ -Werte bezogen auf den Messwert der PTB (durchgezogene, orangene Linie) und die  $k=2$  Unsicherheit (gestrichelt).

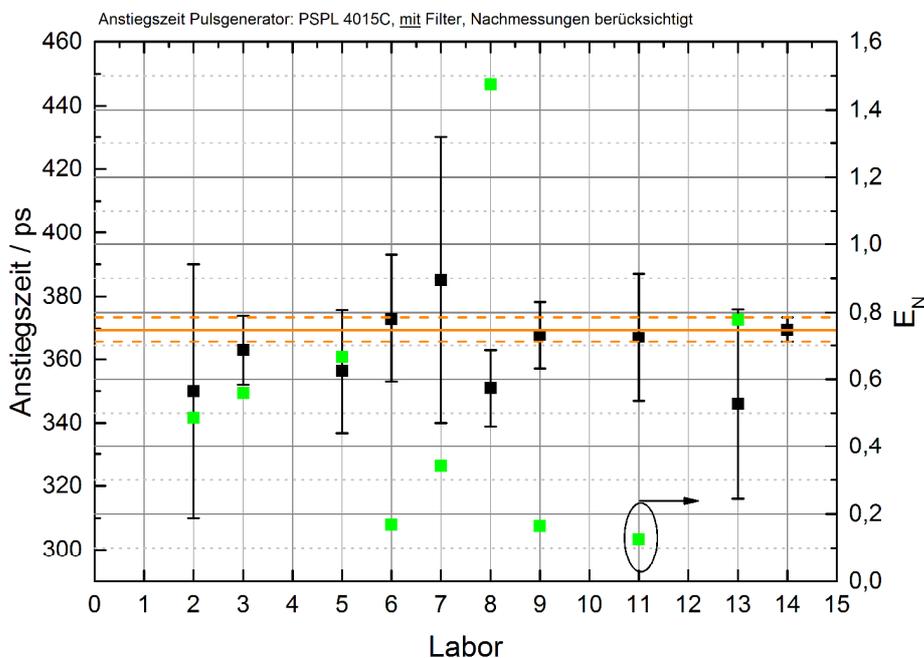
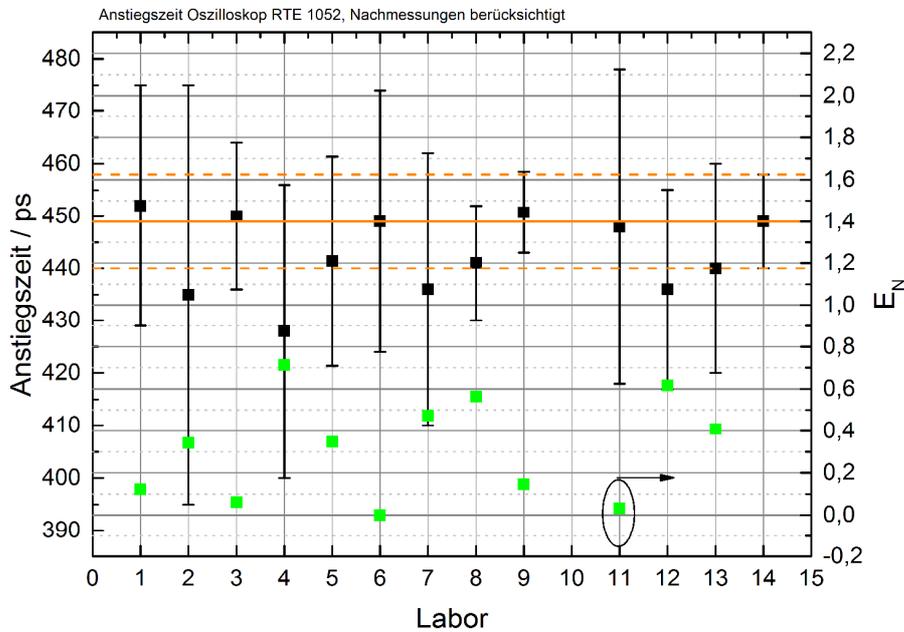
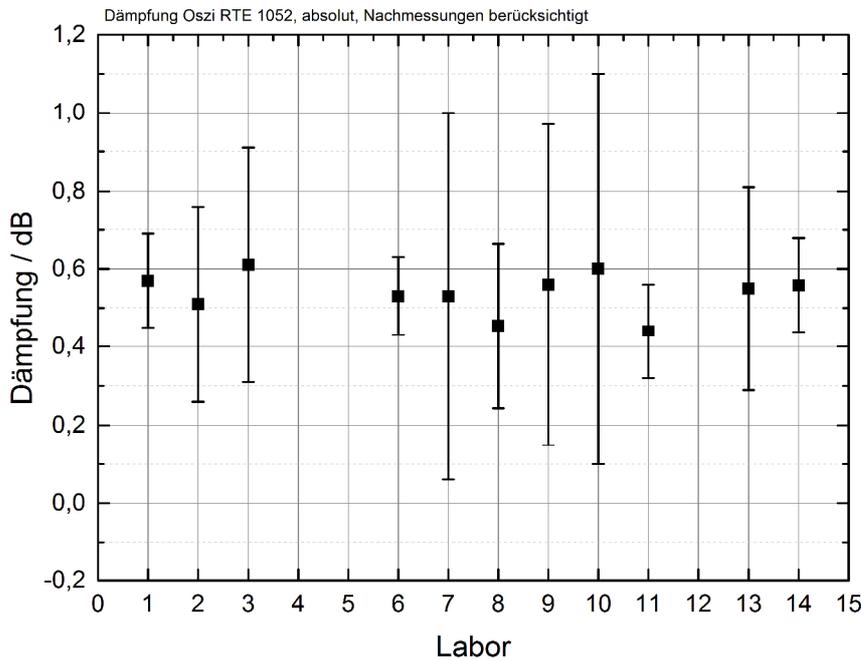


Abbildung 11.2.2: Auswertung der langen Anstiegszeit des Pulsgenerators unter Berücksichtigung der Nachmessungen und  $E_N$ -Werte bezogen

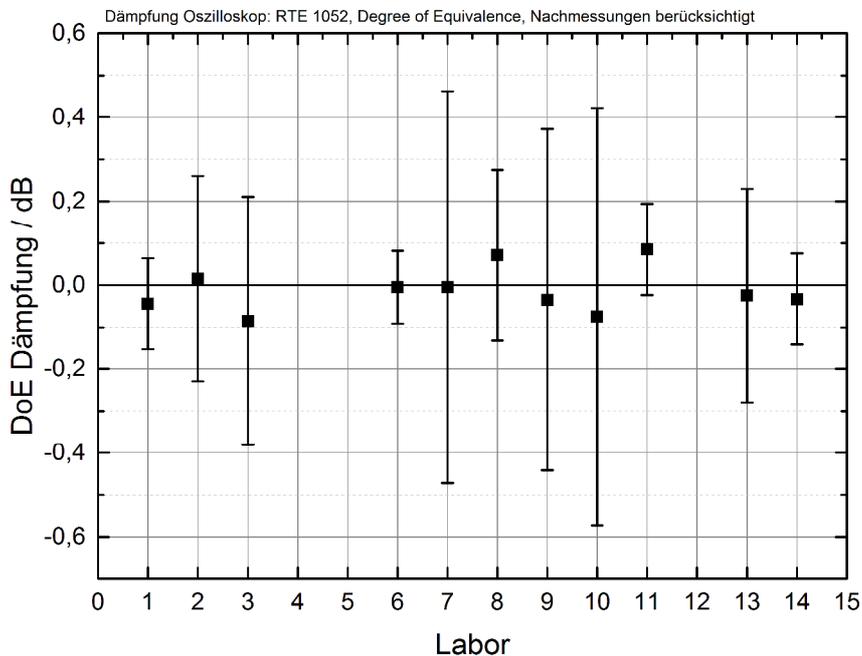
auf den Messwert der PTB (durchgezogene, orangene Linie) und die  $k=2$  Unsicherheit (gestrichelt).



**Abbildung 11.2.3: Auswertung der Anstiegszeit des Oszilloskops unter Berücksichtigung der Nachmessungen und  $E_N$ -Werte bezogen auf den Messwert der PTB (durchgezogene, orangene Linie) und die  $k=2$  Unsicherheit (gestrichelt).**



**Abbildung 11.2.4: Absolutwerte der Dämpfung des Oszilloskops bei 500 MHz in Bezug auf 10 MHz des Oszilloskops ( $k=2$ ).**



**Abbildung 11.2.5: DoE-Werte der Dämpfung des Oszilloskops bei 500 MHz in Bezug auf 10 MHz ( $k=2$ ).**



Herausgeber:

**Physikalisch-Technische Bundesanstalt**  
Deutscher Kalibrierdienst  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

[www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)