



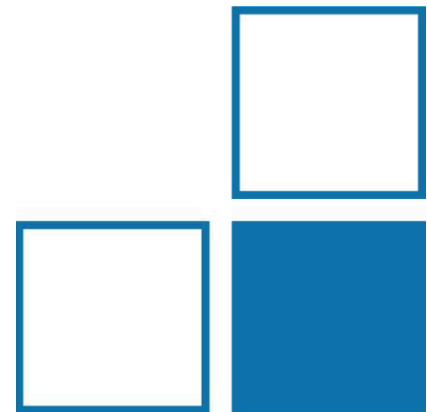
**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**
Nationales Metrologieinstitut

Antennenringvergleich im DKD

David Ulm, Thomas Kleine-Ostmann

311. PTB-Seminar
Aktuelle Fortschritte von Kalibrierverfahren im Nieder- und Hochfrequenzbereich

16. Mai 2018



1. Motivation und Organisation
2. Auswertung
3. Vergleich des Freiraumantennenfaktors
 - Vorstellung genormter Messverfahren
 - Vorstellung von Messergebnissen und Problemen
4. Vergleich des 1m-Antennenfaktors nach SAE ARP 958D
5. Fazit

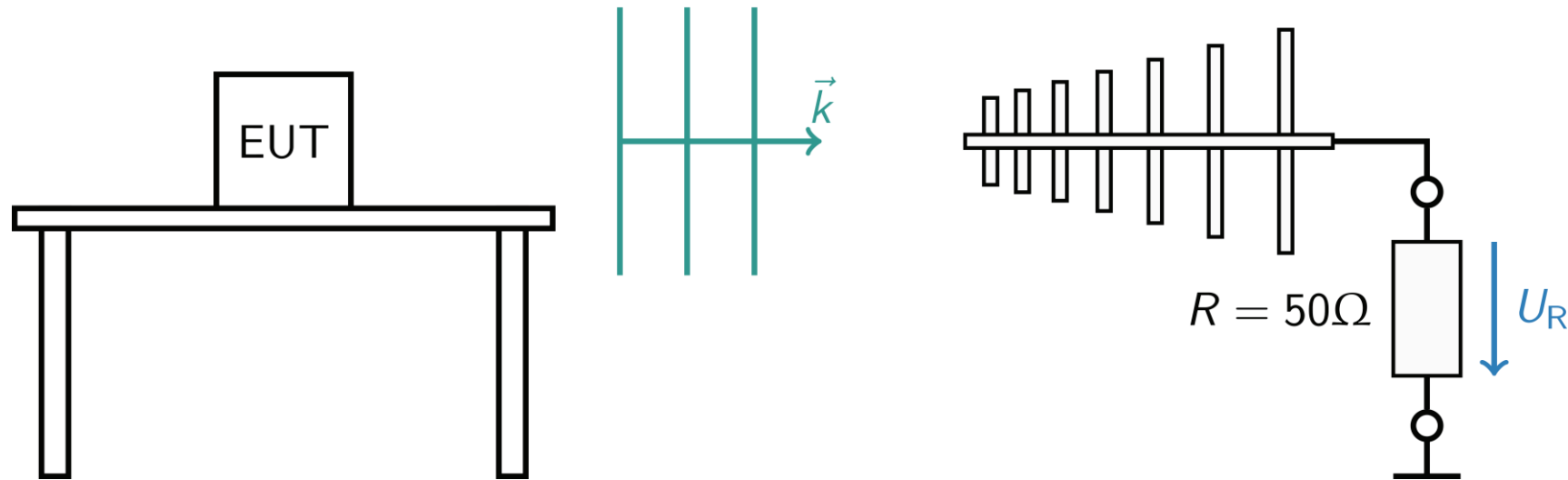


Abb.: Stark vereinfachte Darstellung einer Störemissionsmessung

- Kalibrierte Antennen notwendig für elektromagnetische Emissionsmessungen
- Antenne gewichtet einfallendes elektrisches Feld gemäß (richtungsabhängigem) Antennenfaktor

$$AF = \frac{|E|}{U_R}, \text{ für } R = 50 \, \Omega$$

- Ziel: Vergleichsmessung des normkonformen Antennenfaktors von drei verschiedenen Antennen
- 7 Teilnehmer

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Pilotlabor)

Obering. Berg & Lukowiak GmbH, Hüllhorst

Schwarzbeck Mess-Elektronik OHG, Schöna

Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH, Memmingen

Bureau Veritas Consumer Products Services Germany GmbH, Nürnberg

AMETEK CTS Europe GmbH, Berlin

EMCCons DR. RAŠEK GmbH & Co. KG., Unterleinleiter

- Dauer: 28.08.2017 - 29.04.2018
- Stabilitätsmessung nach Abschluss des Ringvergleichs durch Pilotlabor

1. Motivation und Organisation
2. **Auswertung**
3. Vergleich des Freiraumantennenfaktors
 - Vorstellung genormter Messverfahren
 - Vorstellung von Messergebnissen und Problemen
4. Vergleich des 1m-Antennenfaktors nach SAE ARP 958D
5. Fazit

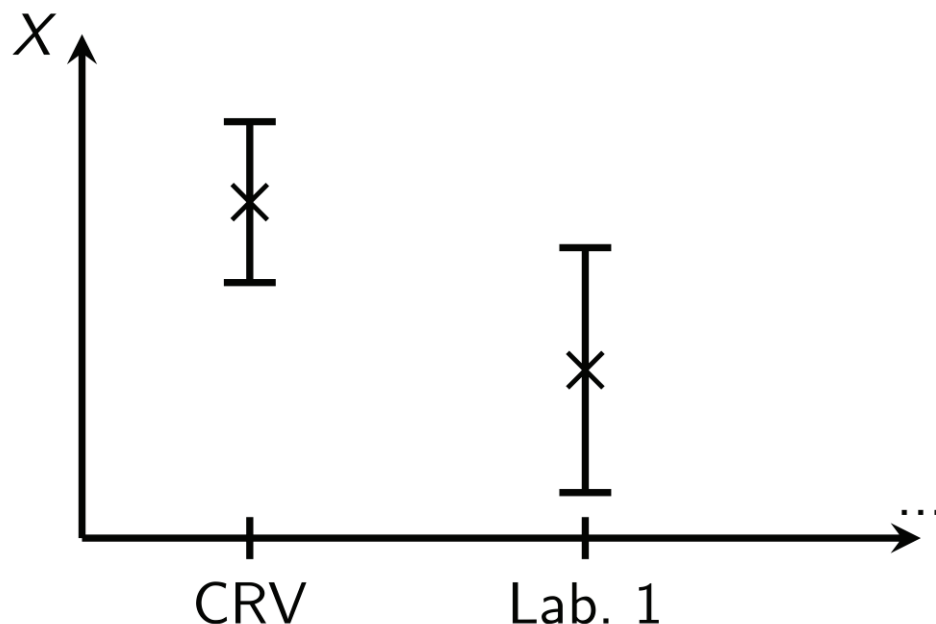


Abb.: Vergleich eines Messwertes mit unsicherheitsbehaftetem Referenzwert (Comparison Reference Value, CRV)

- Reicht erweiterte Messunsicherheit aus, um die Differenz zwischen Messwert und CRV zu erklären?

$$\underbrace{|x_i - CRV|}_{DoE_i} \leq 2 \cdot u(DoE_i)?$$

- Qualitätskriterium eines Messwertes:

$$|En_i| = \frac{|x_i - CRV|}{2 \cdot u(DoE_i)} \leq 1?$$

- Vergleichswert (Comparison Reference Value, CRV) als gewichteter Mittelwert der Einzelmessungen [1]:

$$CRV = \sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i, \text{ mit } w_i = \frac{1}{u^2(x_i)} \cdot \left(\sum_{j=1}^N \frac{1}{u^2(x_j)} \right)^{-1}$$

- Schätzung der Varianz des CRVs:

$$u^2(CRV) = \sum_{i=1}^N w_i^2 \cdot u^2(x_i) + \underbrace{2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N w_i w_j \cdot u(x_i, x_j)}_{=0 \text{ (hoffentlich...)}}$$

- Diese Schätzung ist nur gültig, wenn die einzelnen Messwerte stochastisch unabhängig voneinander sind!

- Zur Erinnerung:

$$DoE_i = x_i - CRV$$

- Schätzung der Standardunsicherheit des Degree of Equivalence:

$$\begin{aligned} u(DoE_i) &= \sqrt{u^2(x_i) + u^2(CRV) - 2 \cdot u(x_i, CRV)} \\ &= \sqrt{u^2(x_i) - u^2(CRV)} \end{aligned}$$

- Schätzung der Kovarianz von Einzelwert x_i und CRV :

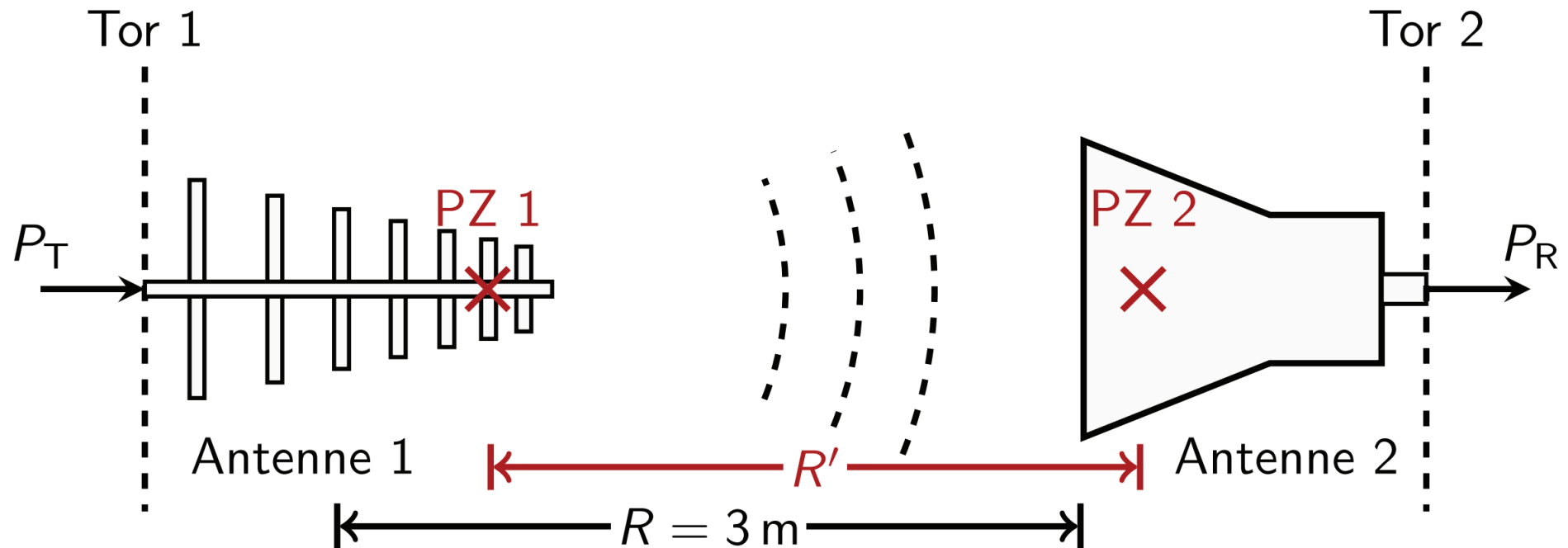
$$u(x_i, CRV) = \text{Cov} \left(X_i, \sum_{k=1}^N w_k X_k \right) = \sum_{k=1}^N w_k \text{Cov} (X_i, X_k) = w_i \cdot u^2(x_i)$$

Linearität

stochastische
Unabhängigkeit der
Einzelmessungen

1. Motivation und Organisation
2. Auswertung
3. Vergleich des Freiraumantennenfaktors
 - Vorstellung genormter Messverfahren
 - Vorstellung von Messergebnissen und Problemen
4. Vergleich des 1m-Antennenfaktors nach SAE ARP 958D
5. Fazit

Three-Antenna Method, TAM

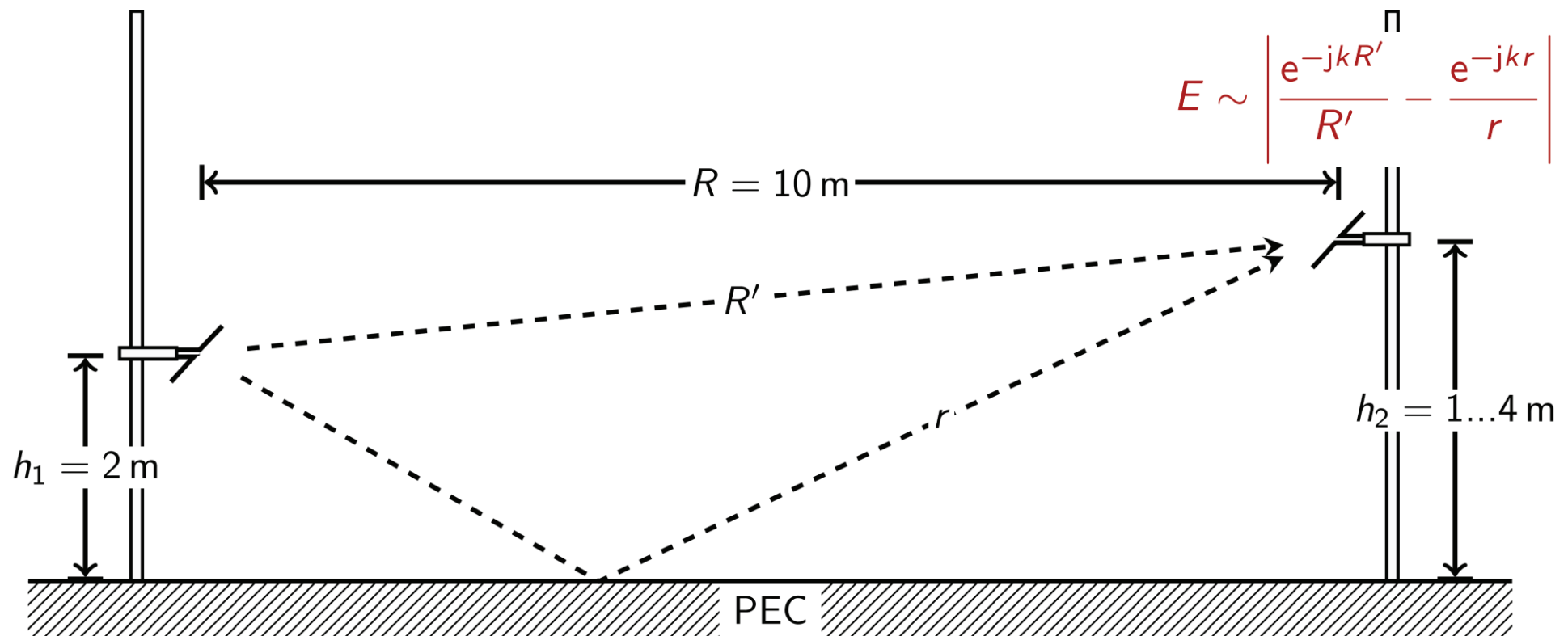


- Abstand zwischen willkürlichen Referenzpunkten $R = 3\text{m}$
- Bestimmung der Antennenfaktoren erfolgt mittels Dämpfungsmessung

$$\sqrt{\frac{P_R}{P_T}} = \frac{\eta}{Z_0 \lambda R'} \cdot \frac{1}{AF_1} \frac{1}{AF_2}$$

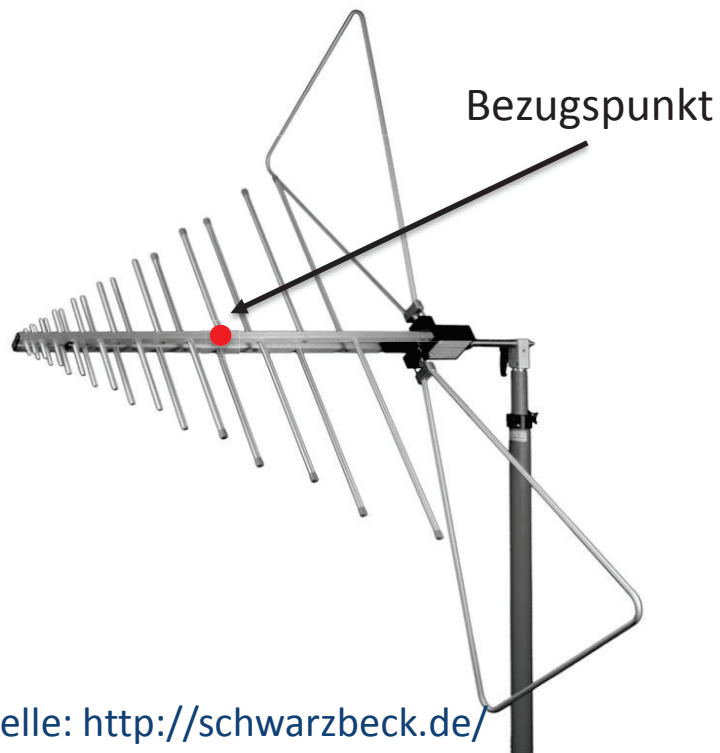
- Berücksichtigung des Abstands der Phasenzentren (PZ) ist optional

Standard-Site Method, SSM

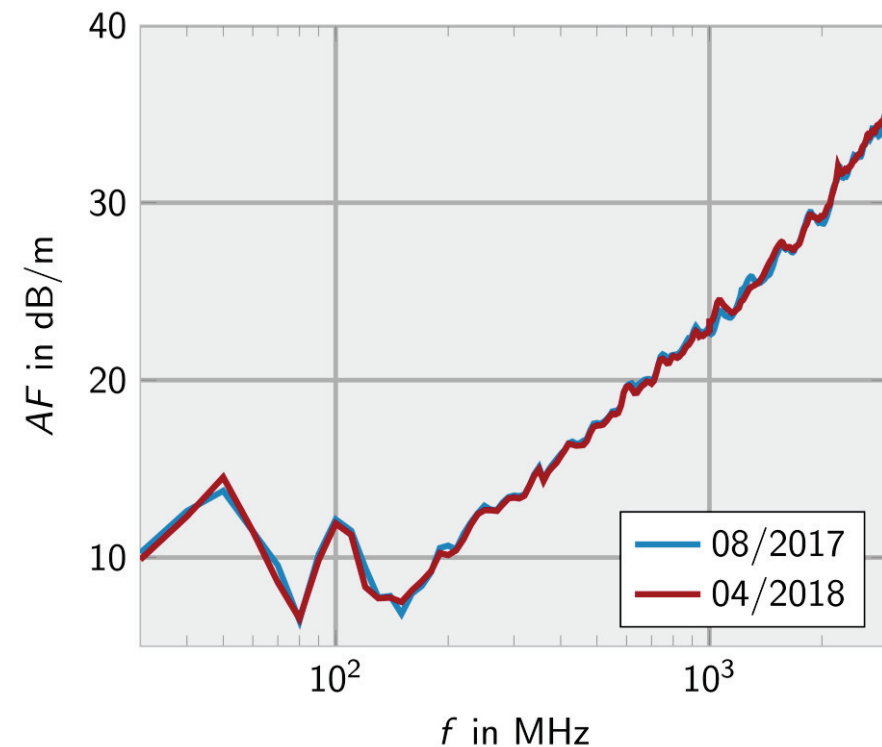


- Übliches Vorgehen zur Kalibrierung dipolartiger Antennen unterhalb 1000 MHz
- Höhe der Empfangsantenne wird mit 5cm Schrittweite zwischen 1 und 4 m variiert
- Kalibrierergebnis basiert auf minimaler Übertragungsdämpfung

Vorstellung VULB 9163

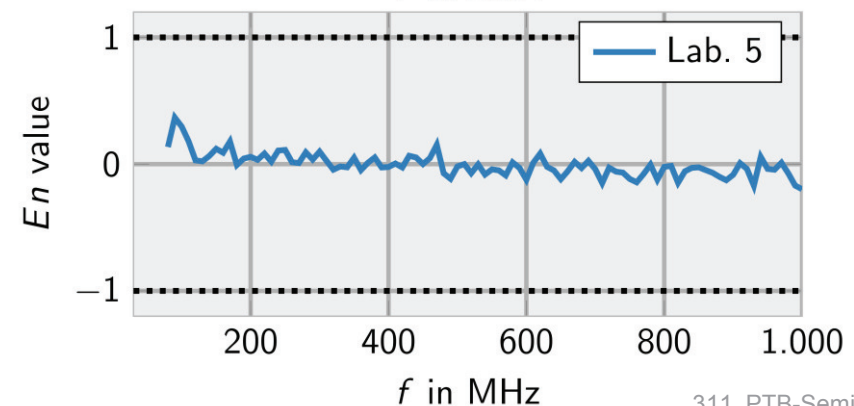
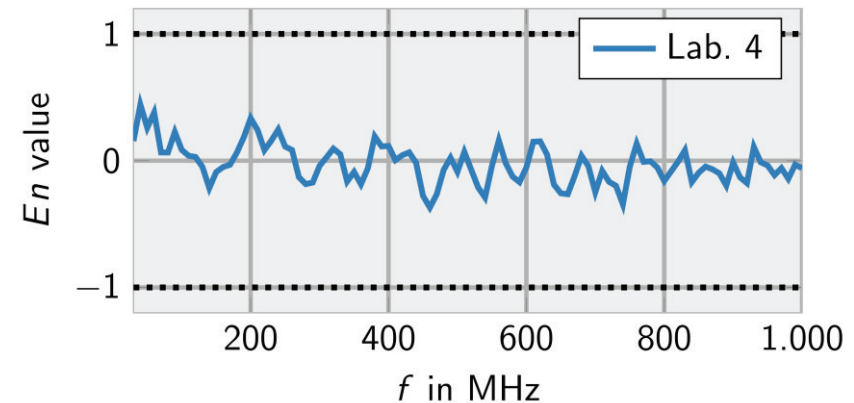
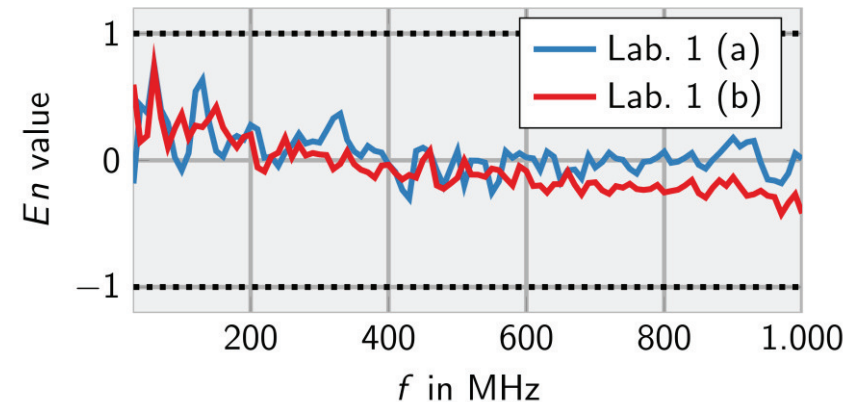


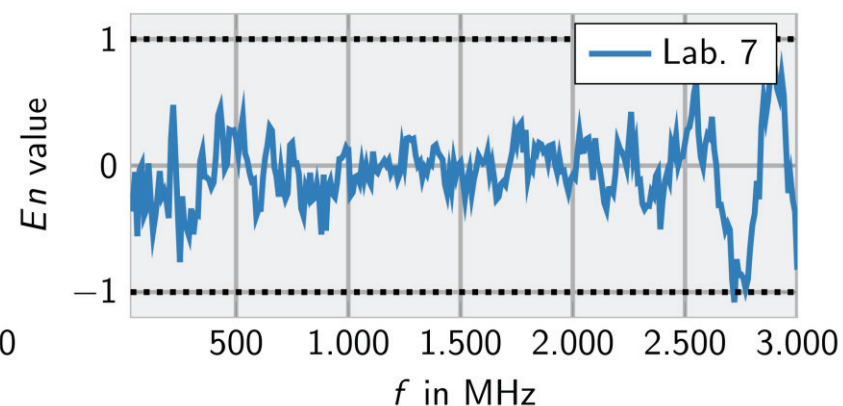
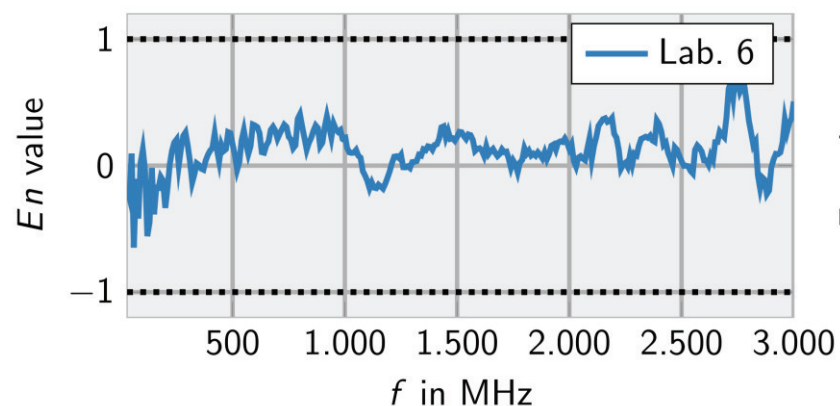
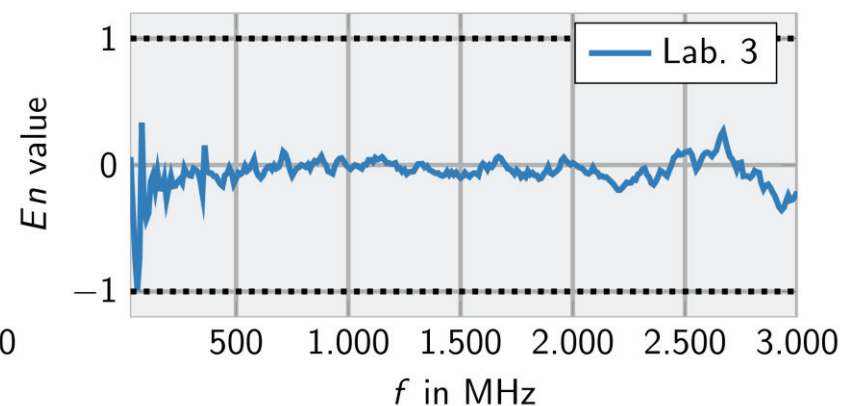
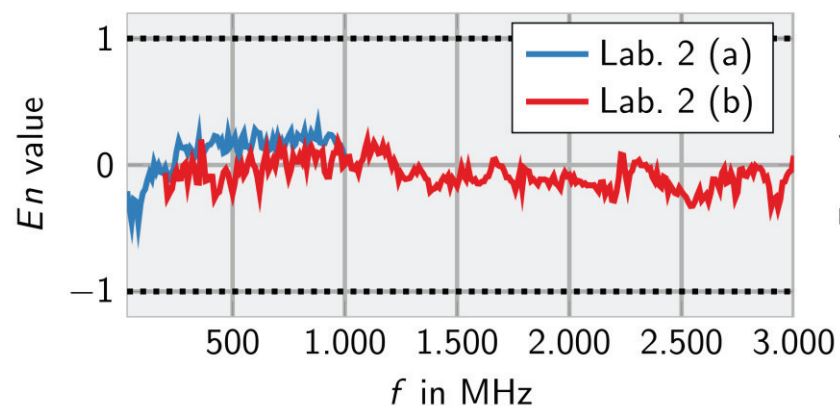
Bildquelle: <http://schwarzbeck.de/>



- Breitbandige Hybridantenne mit Referenzmarkierung in der Mitte
- Messbereich: 30 MHz bis 3000 MHz, Schrittweite: 10 MHz
- Keine nachweisbare Veränderung der VULB 9163

- Unterschiedliche Messverfahren eines Labors werden als stochastisch unabhängig betrachtet
 - Lab. 1 (a): CISPR 16-1-6, SSM
 - Lab. 1 (b): Ansi C 63.5, SSM
- Laboratorien unterschätzen Messunsicherheit nicht
- Frequenzabhängiger Trend des E_n -Wertes erkennbar

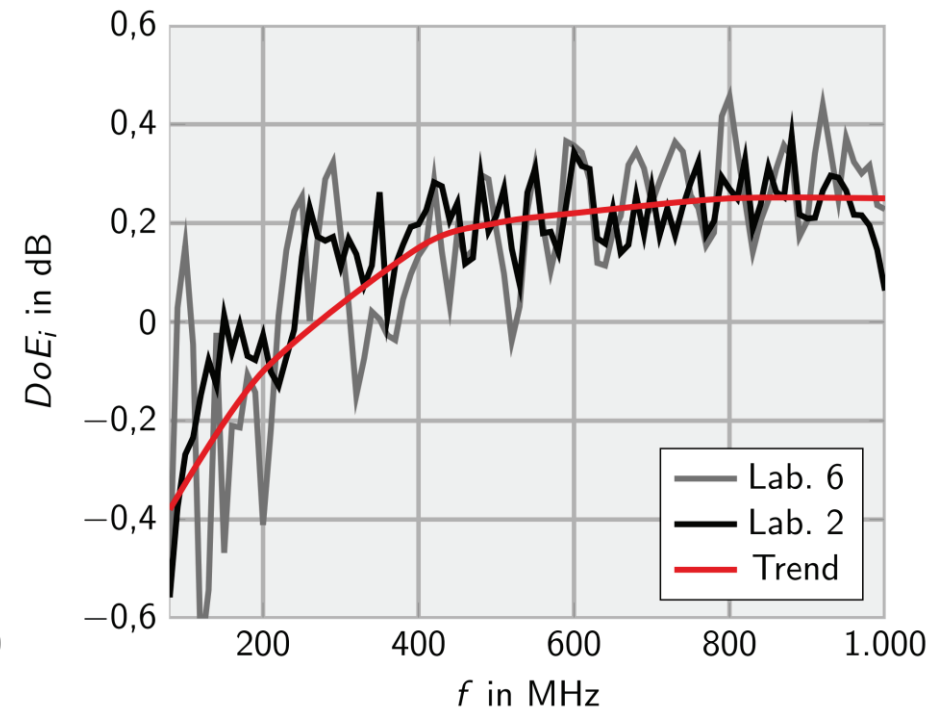
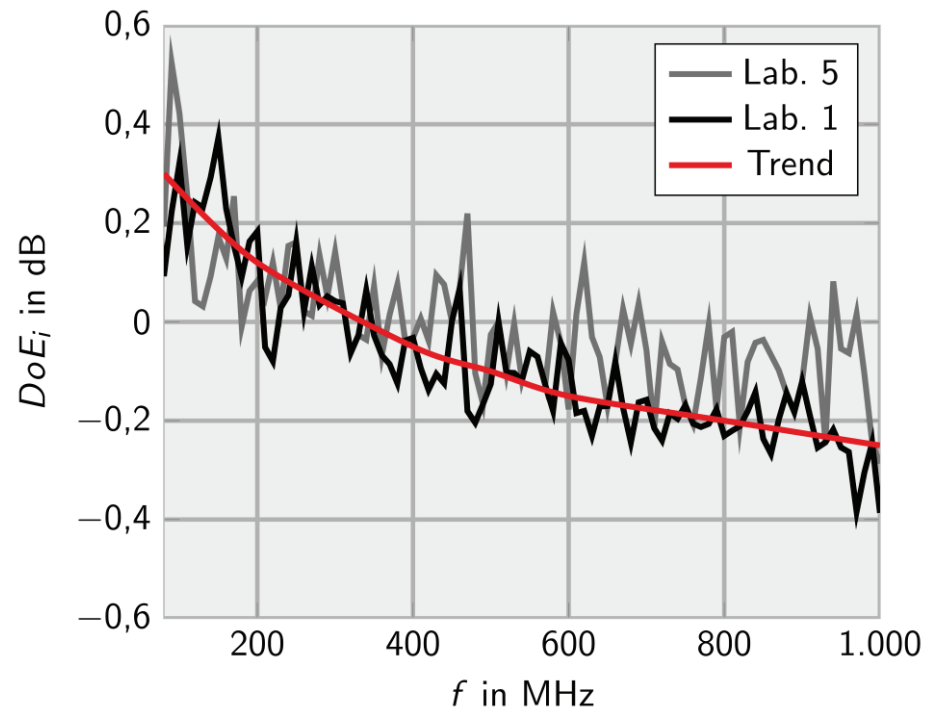




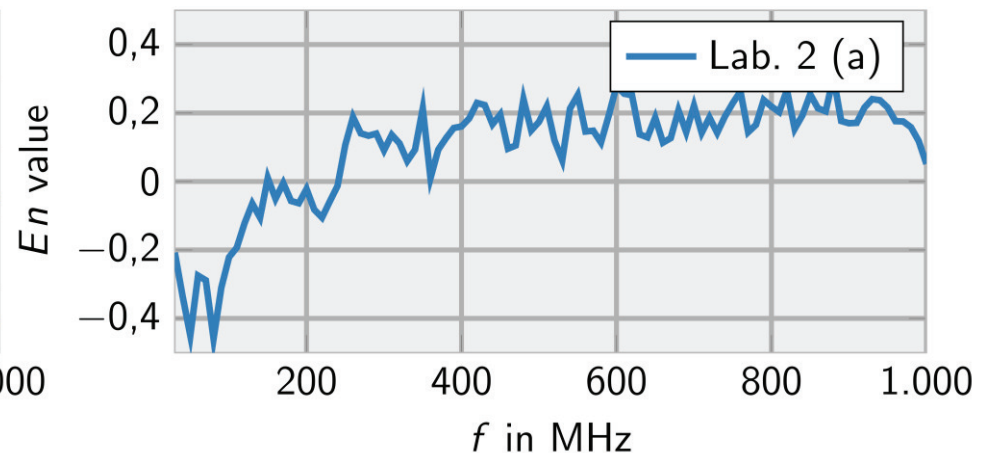
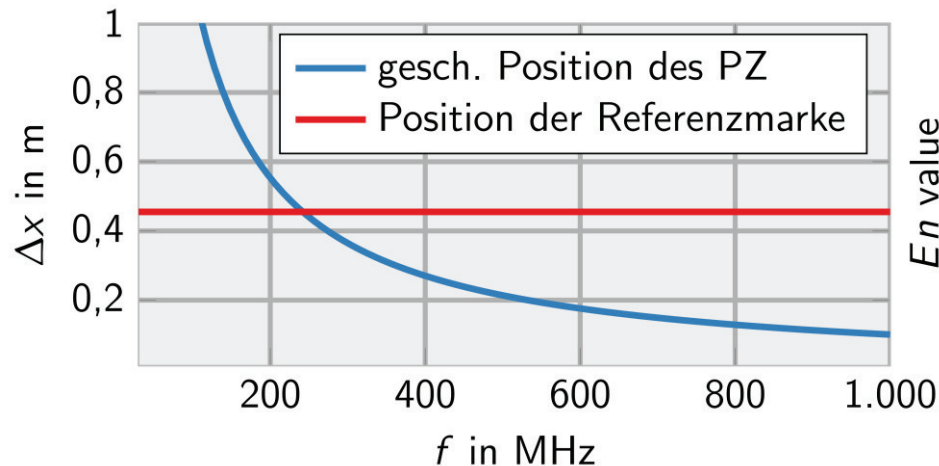
- Unterschiedliche Messverfahren eines Labors werden als stochastisch unabhängig betrachtet

Lab. 2 (a): CISPR 16-1-6/ ANSI C 63.5-2017, SSM

Lab. 2 (b): CISPR 16-1-6, TAM



- Die Differenz zwischen CRV und Messwerten unterschiedlicher Labore ist korreliert!
 - Korrelation lässt sich nicht durch Drift erklären
 - Stochastische Unabhängigkeit der Einzelmessungen nicht gegeben
- Beurteilung der Einzelmessungen mit En-Kriterium ist nicht 100%ig korrekt

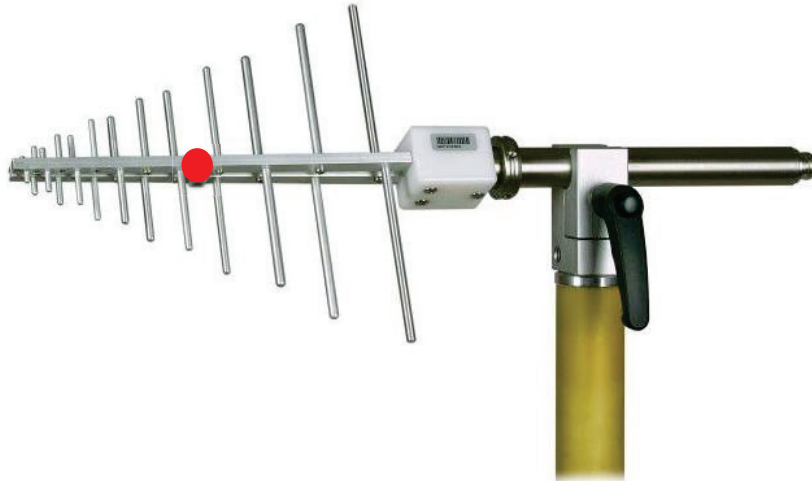


- Vergleiche Zwei-Antennen-Methode (ohne Bodenreflexion)

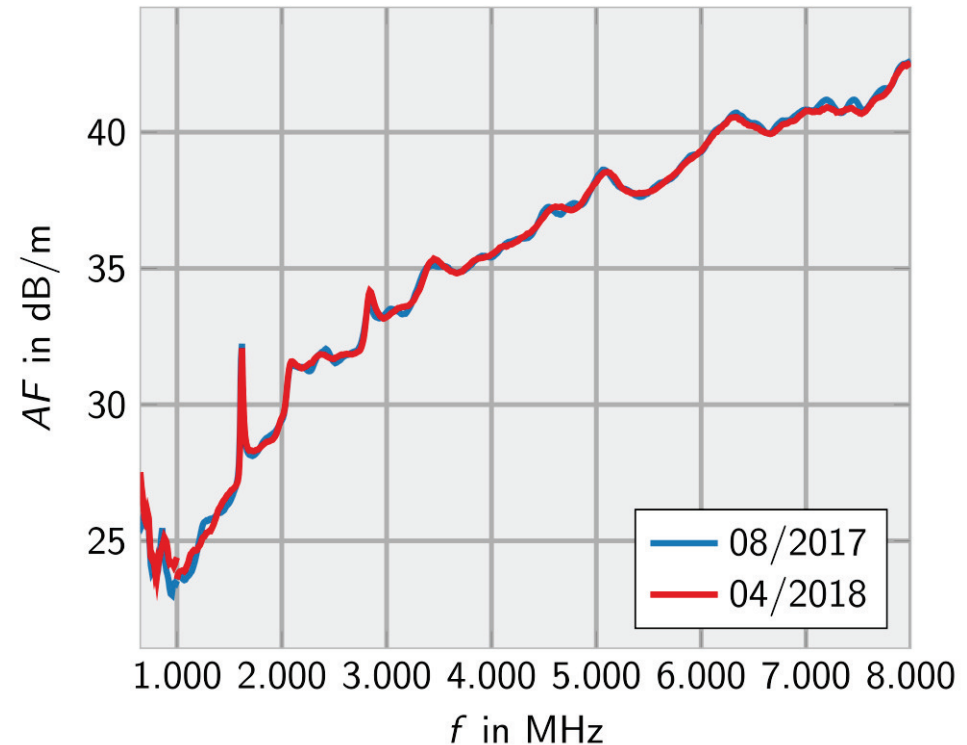
$$\begin{aligned} AF^{\text{dB/m}} &= 10 \cdot \log_{10} \frac{\eta}{Z_0 \cdot \lambda \cdot |S_{21}|} - 10 \cdot \log_{10} R \\ &= c - 10 \cdot \log_{10} R \end{aligned}$$

- Kaschieren systematischer Beiträge im Unsicherheitsbudget kann zu Fehlinterpretation führen!
→ Laboratorien mit Phasenzentrumskorrektur werden tendenziell zu schlecht,
Laboratorien ohne Phasenzentrumskorrektur zu gut beurteilt

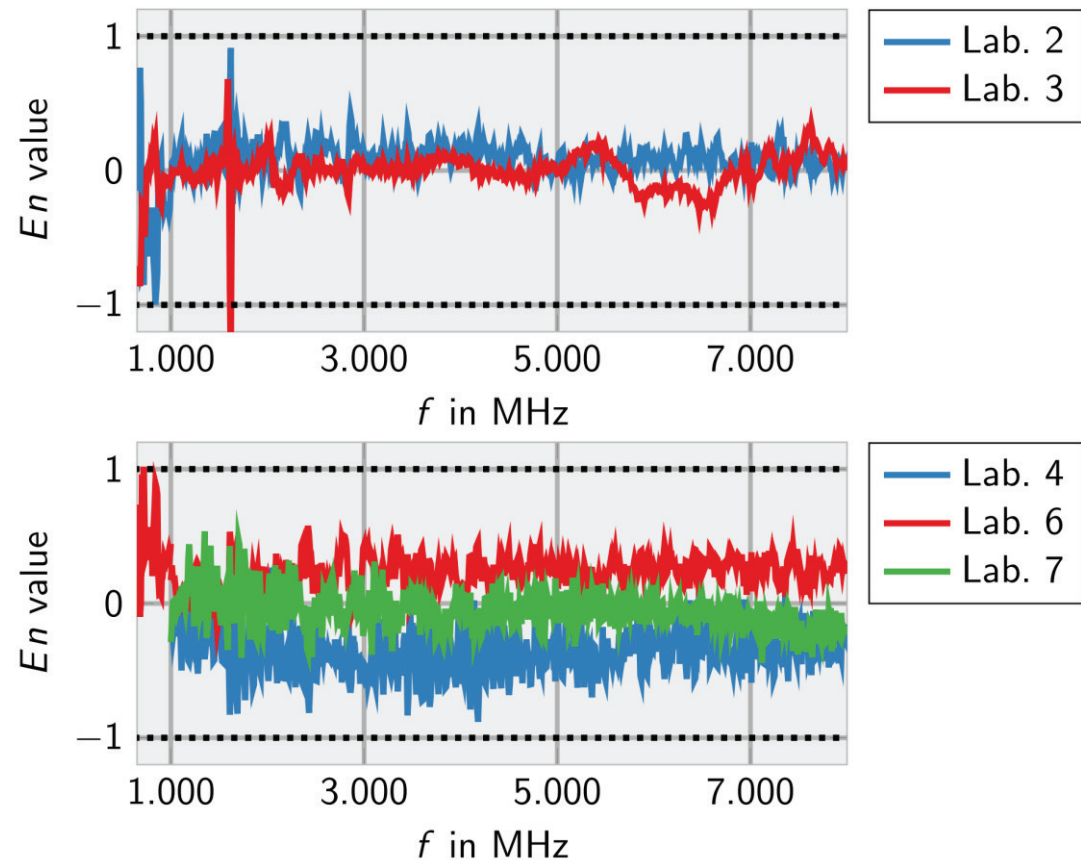
Vorstellung USLP 9142



Bildquelle: <http://schwarzbeck.de/>

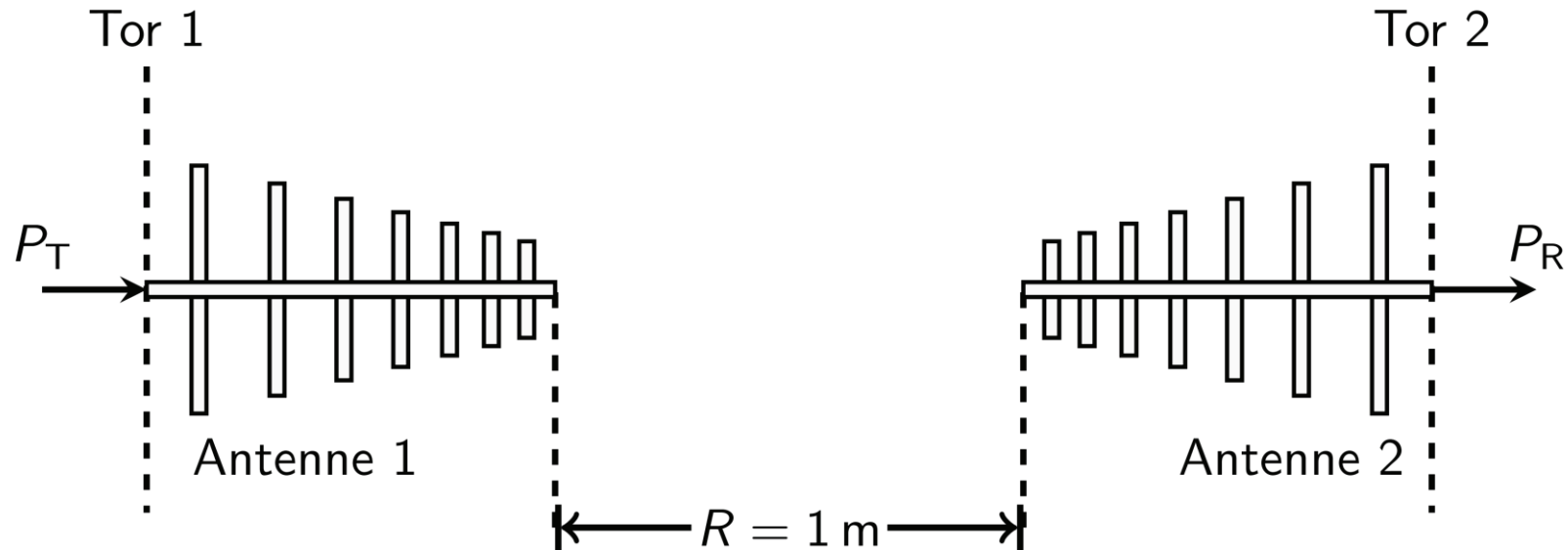


- Logarithmisch-Periodische Dipolantenne mit Referenzmarkierung in der Mitte
- Messbereich: 650 MHz bis 8000 MHz, Schrittweite: 10 MHz
- Antenne weist Peak des Antennenfaktors bei ca. 1700 MHz auf
- Keine nachweisbare Veränderung der USLP 9142



- Kein Trend erkennbar, alle Laboratorien schätzen Messunsicherheit realistisch ein
- Trotz relativ großer Messunsicherheit von $U(AF) = 1,58$ dB weist Labor 3 bei Peak des Antennenfaktors Ausreißer auf

1. Motivation und Organisation
2. Auswertung
3. Vergleich des Freiraumantennenfaktors
 - Vorstellung genormter Messverfahren
 - Vorstellung von Messergebnissen und Problemen
4. Vergleich des 1m-Antennenfaktors nach SAE ARP 958D
5. Fazit



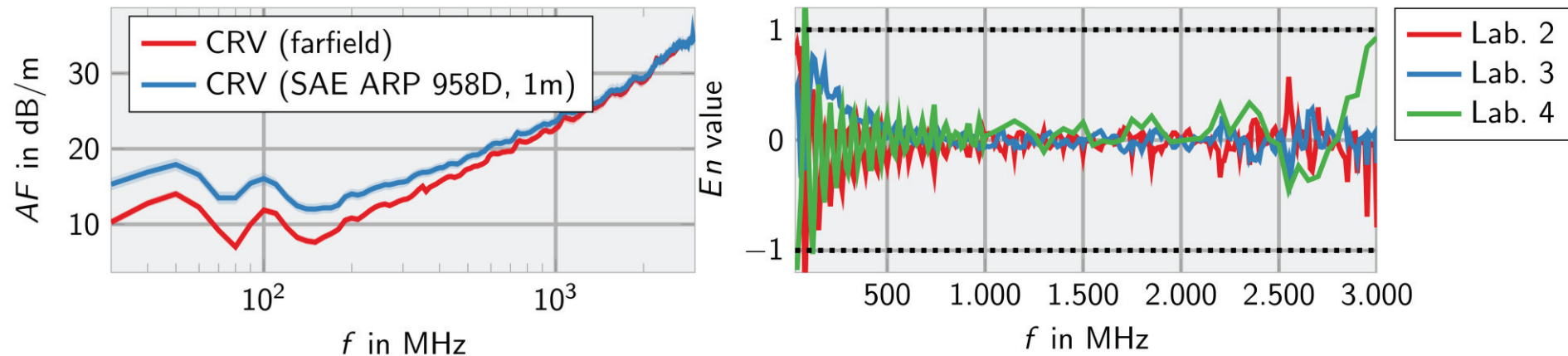
- Zwei-Antennen Methode mit Antennenspitze als Bezugspunkt

$$AF^{\text{dB/m}} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\eta}{Z_0 \cdot \lambda \cdot |S_{21}|} - 10 \cdot \log_{10} R$$

→ keine Beeinflussung des CRV durch Position des Phasenzentrums

- „Nahfeldantennenfaktor“ mit Fernfeldformeln

VULB 9163 – 1m-Antennenfaktor

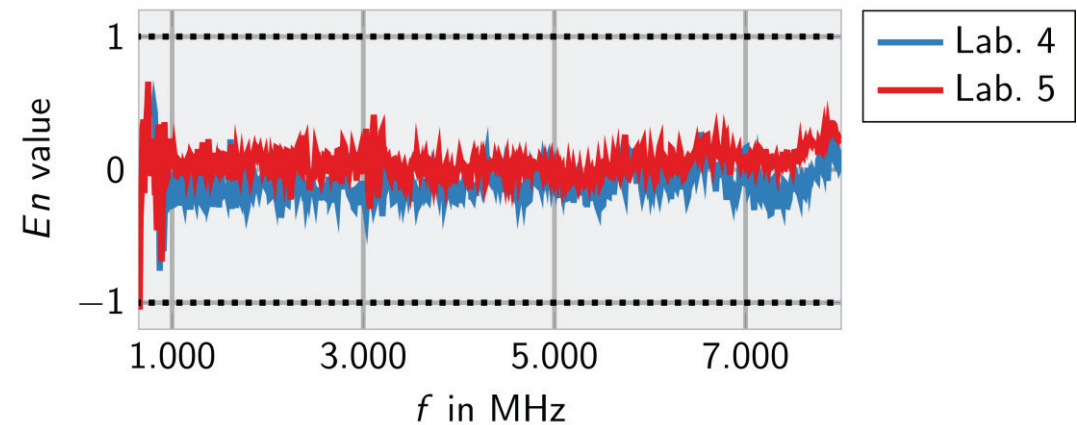
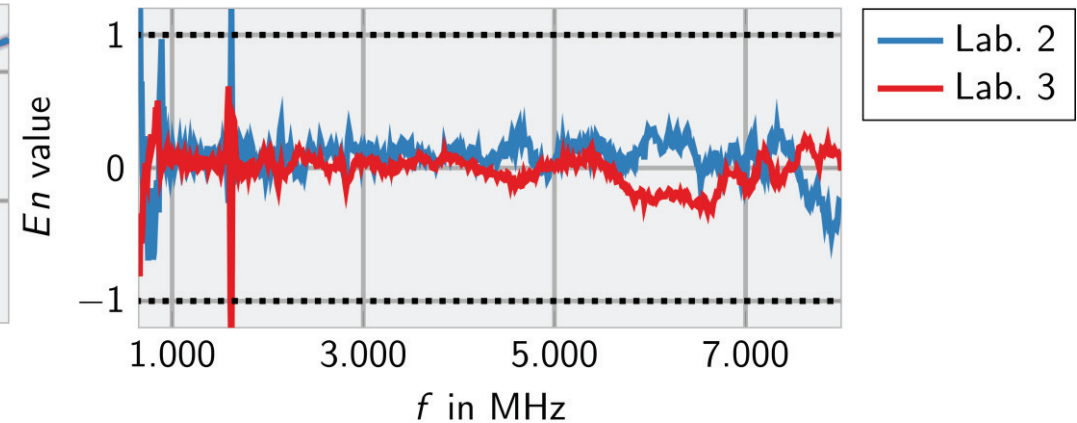
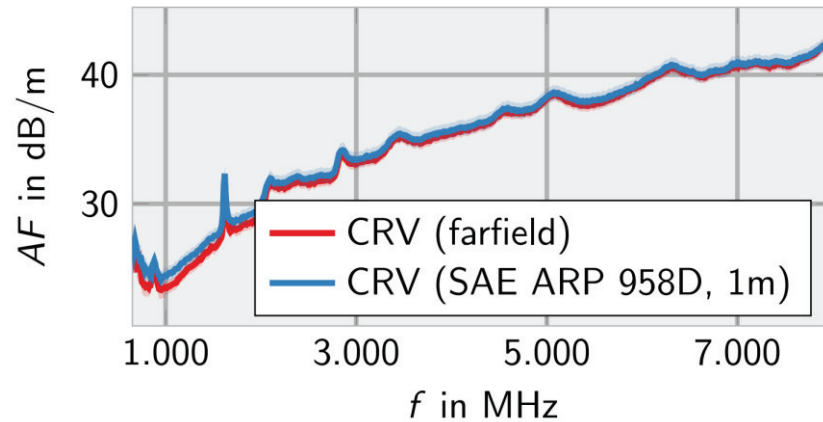


- Deutliche Abweichung zwischen Freiraumantennenfaktor und „1m-Antennenfaktor“
- Labor 4 weist unterhalb von 200 MHz 4 von 18 inkonsistente Messwerte auf
- Bei stochastisch unabhängigen Messungen wäre die Wahrscheinlichkeit für dieses Ereignis:

$$\binom{18}{4} \cdot 0,95^{18-4} \cdot 0,05^4 \approx 1\%$$

→ Messunsicherheitsbudget von Labor 4 unterhalb von 200 MHz sollte überprüft werden

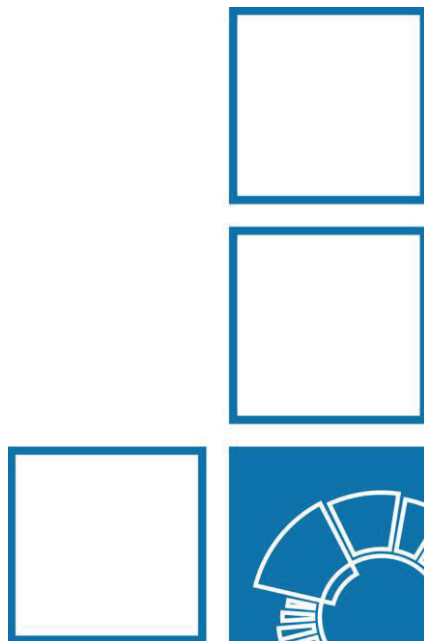
USLP 9142 – 1m-Antennenfaktor



- Messwerte der einzelnen Laboratorien weitestgehend konsistent
- Labor 2 und Labor 3 weisen wieder Ausreißer bei ca. 1700 MHz auf

- Die geschätzten Messunsicherheiten der Laboratorien scheinen weitestgehend realistisch
- Systematische Fehler können die Aussagekraft des Ringvergleichs beeinflussen
- Dank an:
 - Herrn Schwarzbeck für die Bereitstellung der VULB 9163
 - Allen Teilnehmern für die gute Kooperation und Abwicklung

Fragen?



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100
38116 Braunschweig

David Ulm

Elektromagnetische Felder und Antennenmesstechnik

Telefon: 0531 592-2217

E-Mail: david.ulm@ptb.de

www.ptb.de

- [1] Krystek, M.: Berechnung der Messunsicherheit: Grundlagen und Anleitung für die praktische Anwendung, Beuth Verlag GmbH, 2012.