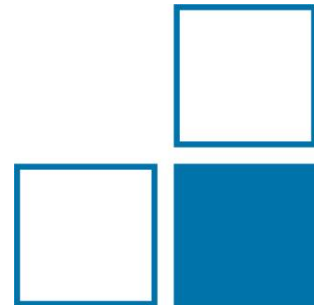


# Vorstellung eines neuen Kalibrierverfahrens für Mehrtor-VNA

**303. PTB-Seminar**

**Aktuelle Fortschritte von Kalibrierverfahren im Nieder- und  
Hochfrequenzbereich 2017**

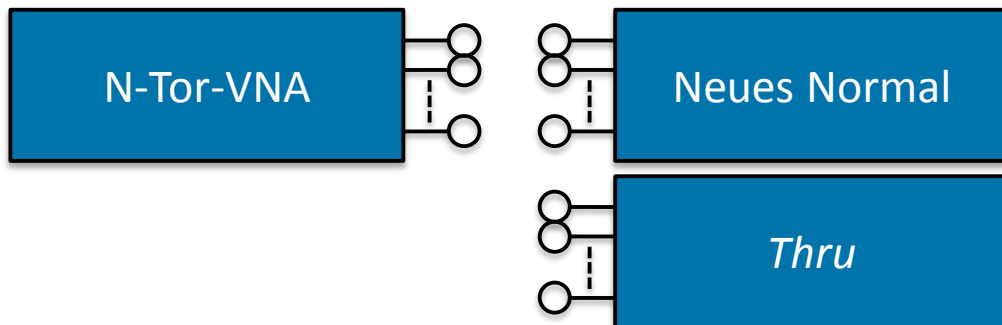
**Karsten Kuhlmann, PTB**



- Idee
- Simulierte Kalibrierung
  - 3-Tor-VNA
  - 4-Tor-VNA
- Messung
- Zusammenfassung und Ausblick

- Idee
- Simulierte Kalibrierung
  - 3-Tor-VNA
  - 4-Tor-VNA
- Messung
- Zusammenfassung und Ausblick

- Zwei N-Tor-Normale sind ausreichend für die Kalibrierung eines N-Tor-VNA
- Ausnahmen:
  - 1-Tor-VNA: 3 Unbekannte, nur 2 Gleichungen
  - 2-Tor-VNA: 7 Unbekannte, 8 Gleichungen (aber nur 6 unabhängig)
- Vorgehen:
  - Ein zuvor kalibriertes N-Tor-Normal
  - N/2 Durchgangsverbindungen (*thru*), *switch terms* bestimmen
  - Algorithmus: Methode der kleinsten Quadrate, Gronefeld1999

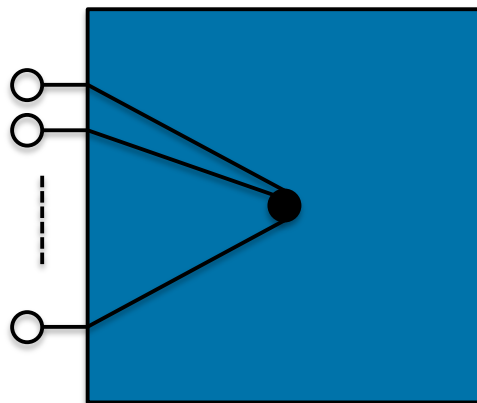


## Variationen:

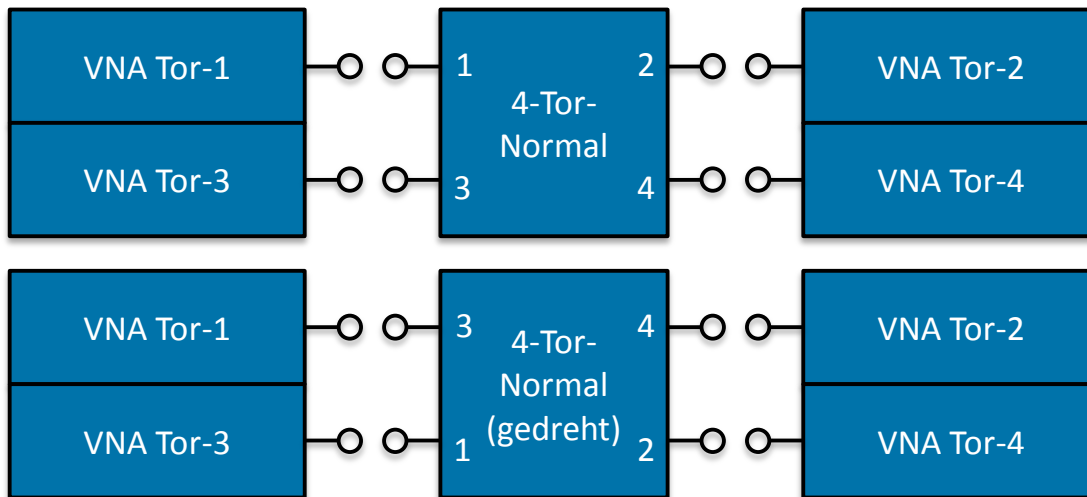
- *Non-insertable* (kein *thru*): charakterisierter Adapter
- Ungerade Anzahl an VNA-Toren: Ein VNA-Tor wird mit klassischem Normal abgeschlossen (OSM)

## Realisierung des neuen Normal als Sternschaltung

- Transmissions- und Reflexionseigenschaften: mittel
- Gute Ergänzung zum *thru* (Reflexion=0, Transmission=1)



- Alternative: Zwei Messungen mit einem N-Tor-Normal
- Bsp.: 4-Tor

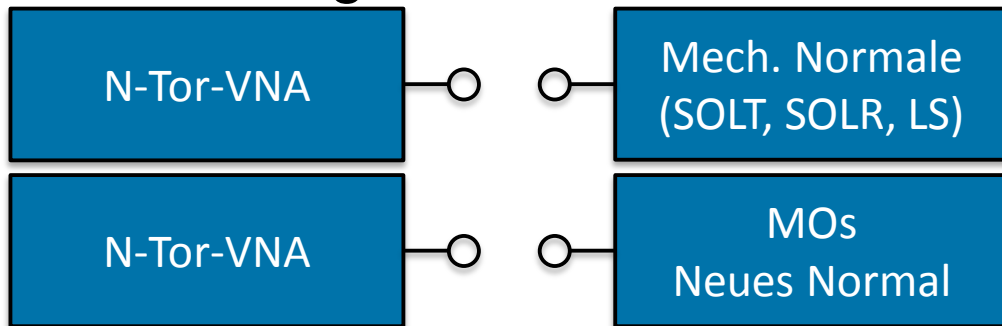


- Nicht für alle Tor-Konfigurationen möglich
- Normal darf nicht symmetrisch sein

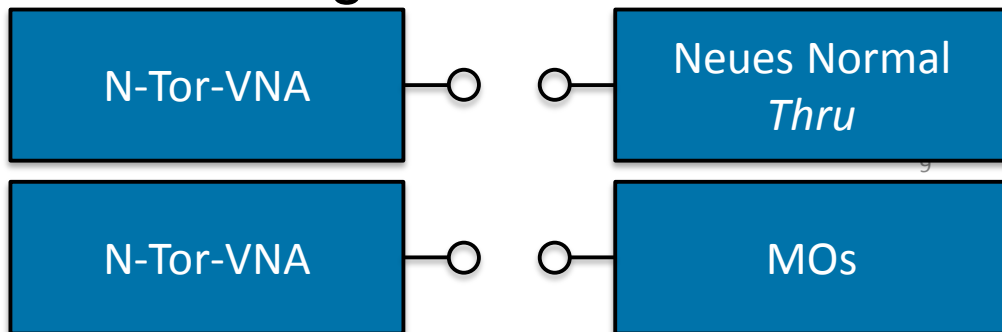
- Idee
- Simulierte Kalibrierung
  - 3-Tor-VNA
  - 4-Tor-VNA
- Messung
- Zusammenfassung und Ausblick



## Kalibrierung A



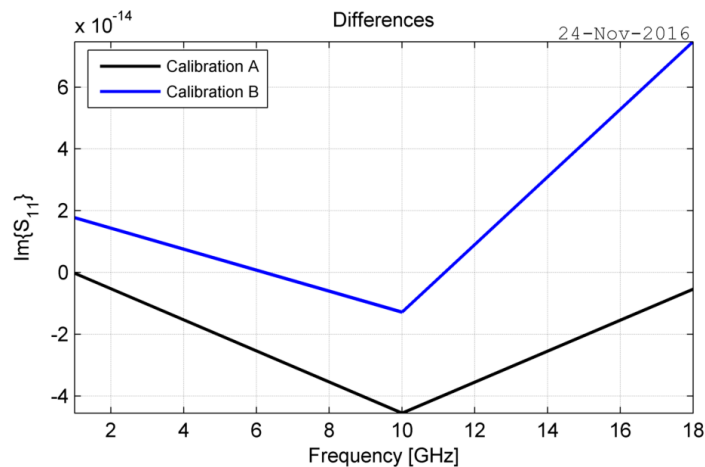
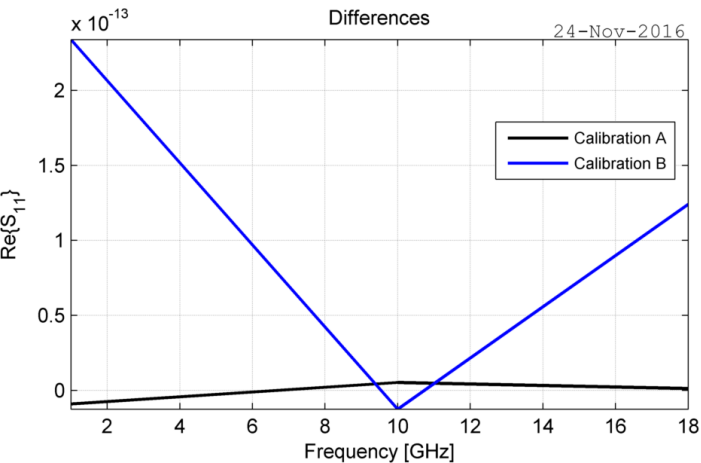
## Kalibrierung B



# Simulierte Kalibrierung

MO: 3R-Leistungsteiler (3-Tor)

Differenz zur Vorgabe: numerisch Null

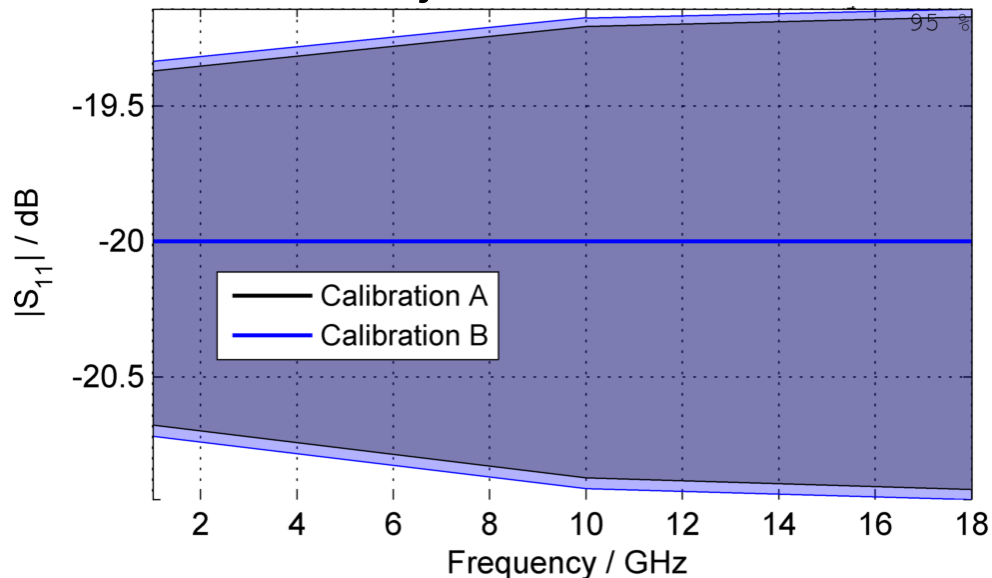


...

# Simulierte Kalibrierung

MO: 3R-Leistungsteiler (3-Tor)

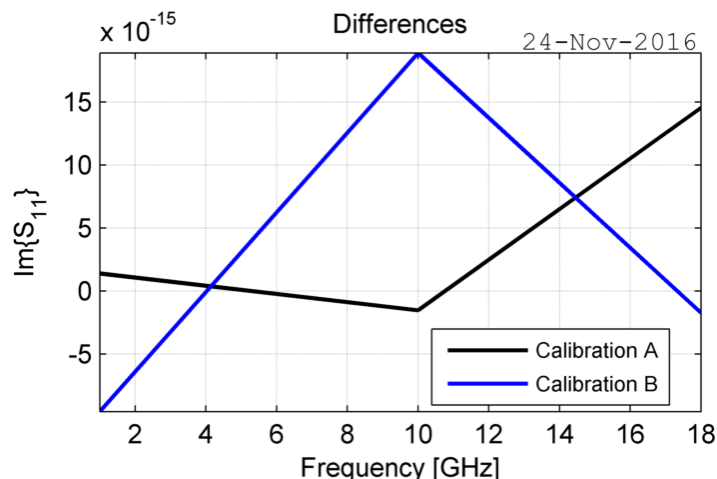
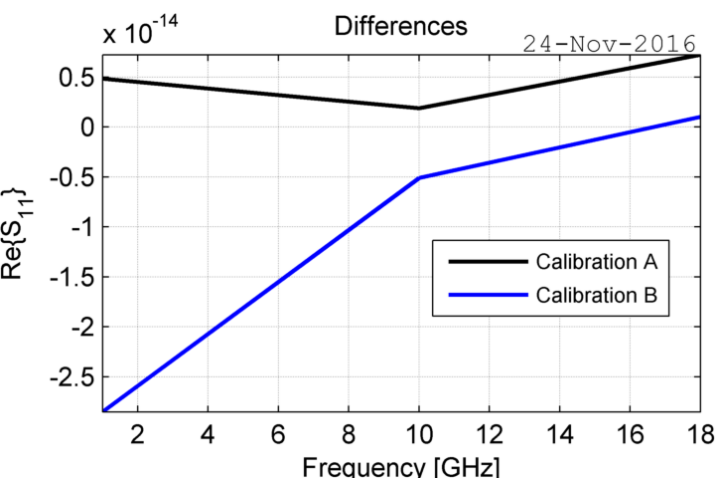
MU: etwas größer als für Kalibrierung A (wie erwartet)  
wie bei jeder sekundären Kalibrierung (e.g. ECU)



# Simulierte Kalibrierung

MO: Koppler (4-Tor)

Differenz zur Vorgabe: numerisch Null

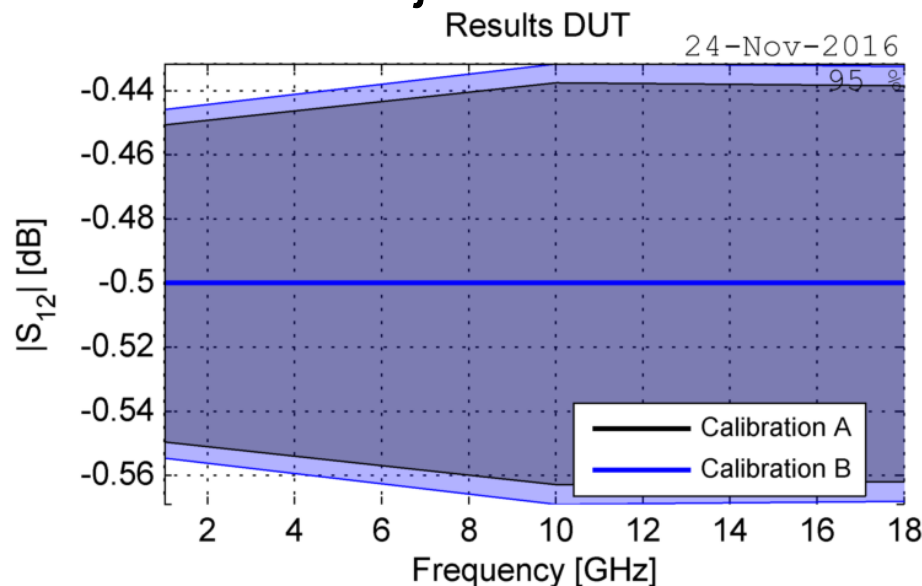


...

# Simulierte Kalibrierung

MO: Koppler (4-Tor)

MU: etwas größer als für Kalibrierung A (wie erwartet)  
wie bei jeder sekundären Kalibrierung (e.g. ECU)



Studie der Fehlerterme D, T und M:

- Reflexionsbetrag des neuen Normals (Phase willkürlich)
- Reflexionsphase des neuen Normals (Betrag=0.1)
- Symmetrisches oder zufälliges N-Tor-Normal

Ergebnis: Kein Einfluss auf MU!

- Idee
- Simulierte Kalibrierung
  - 3-Tor-VNA
  - 4-Tor-VNA
- **Messung**
- Zusammenfassung und Ausblick

# Messung

## 4-Tor-Normal

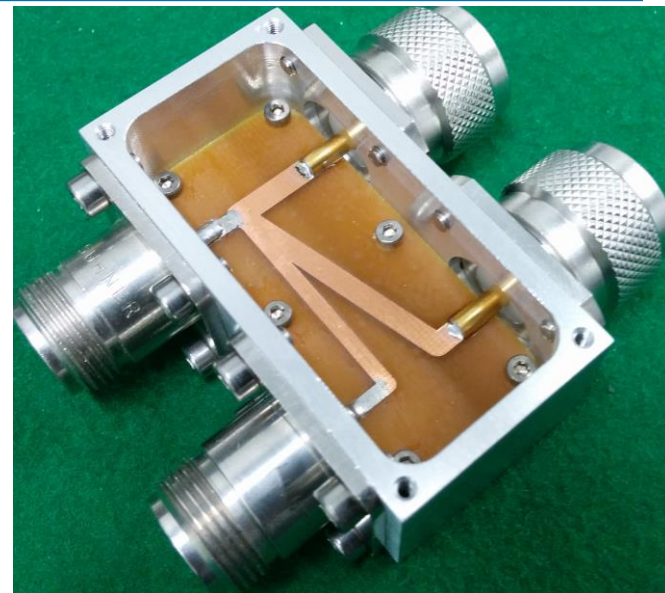
- Einfaches FR-4 PCB
- Unsymmetrisch (Leitungslängen und -breiten)
- *Non metrology* N-Verbinder

## Kalibrierung A

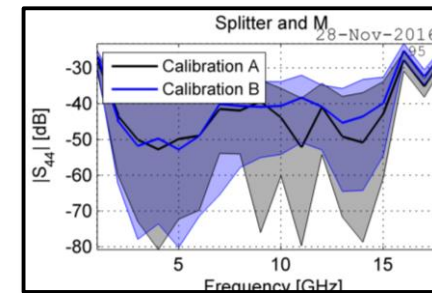
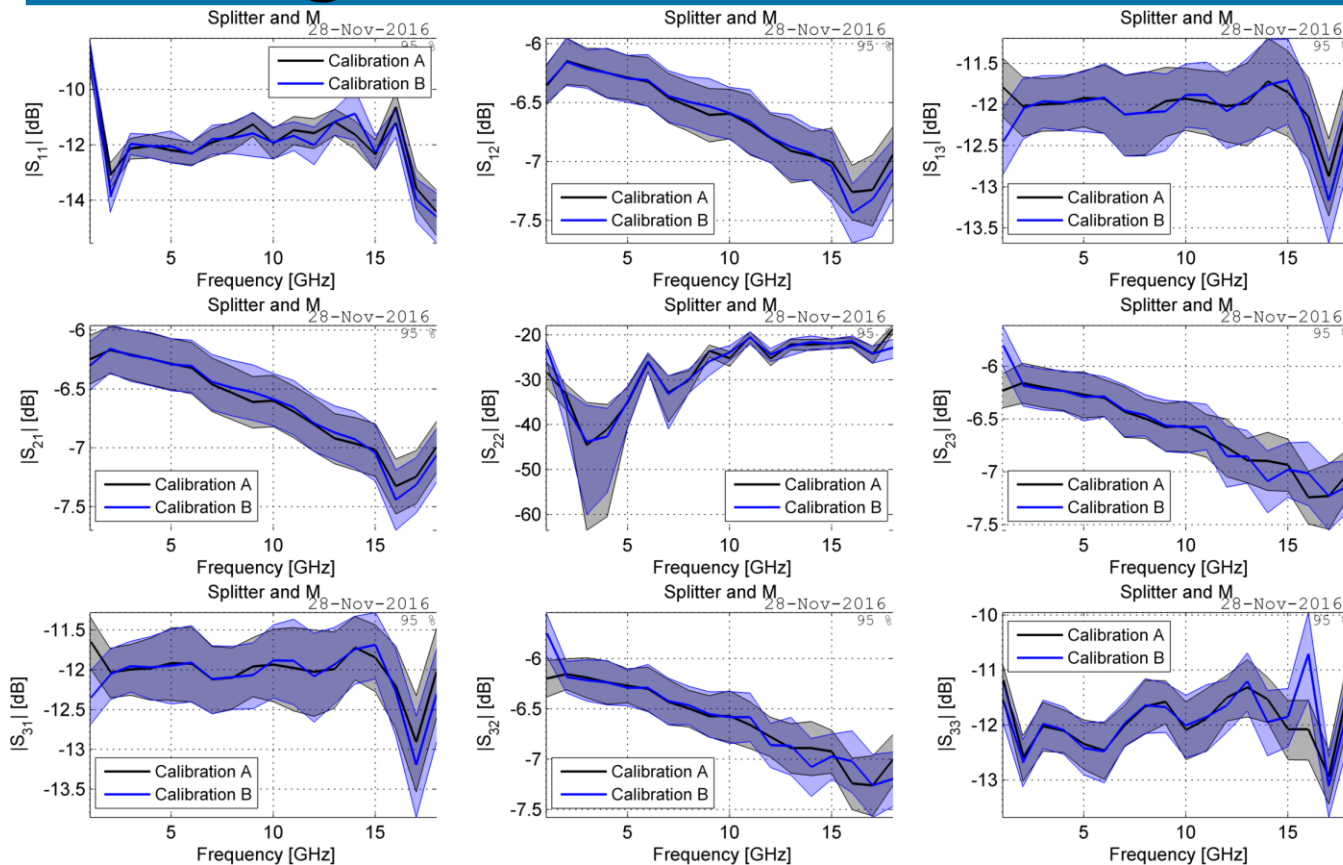
- Standard HP Kit 85054B
- OSM für jedes Tor und angenommen  $M=0$
- *Thru 1*: Tore 1-2, 3-4
- *Thru 2*: Tore 1-4, 3-2
- MO: Splitter an Toren 1-3 und Match an Tor 4

## Kalibrierung B

- 4-Tor-Normal (Ergebnis von Kalibrierung A)
- *Thru 1*: Tore 1-2, 3-4







- Idee
- Simulierte Kalibrierung
  - 3-Tor-VNA
  - 4-Tor-VNA
- Messung
- Zusammenfassung und Ausblick

- Idee vorgestellt
- Benötigt für Kalibrierung:
  - Bekanntes N-Tor-Normal
  - *thru* Verbindungen, ggf. mit Adpt. (oder gedrehtes Normal)
  - Ein 1-Tor-Normal für ungerade Anzahl von VNA-Toren
- Simulation OK
- Betrag und Phase von N-Tor-Normal und Symmetrie scheinen keinen Einfluss auf MU zu haben
- Einfache Realisierung: Sternschaltung

- Vorteil gegenüber ECU
  - Drift und thermische Einflüsse
- Nachteile gegenüber ECU
  - Flexibilität
  - N-Tor-Kalibrierung benötigt
- Anwendung:
  - Kal. mit immer identischen Anschlüssen (günstiger und schneller)
  - NMIs und Kal.-Labore: präziser
  - Eher nicht für breit aufgestellte Forschungsinstitute (Universitäten, ...)

---

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Fragen?



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100  
38116 Braunschweig



Karsten Kuhlmann  
Telefon: 0531 592-2222

E-Mail: [karsten.kuhlmann@ptb.de](mailto:karsten.kuhlmann@ptb.de)

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



Stand: 05/17