

Physikalisch- Technische Bundesanstalt




Vergleichsbericht Nationaler Ringvergleich DKD-V 2-7 „HF-Leistung im N- und 3,5 mm- Koaxialleiter“ Januar bis Juni 2022

Ausgabe 09/2023

<https://doi.org/10.7795/550.20230921>



	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	2 / 120

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: 0531 5 92-8021

Internet: www.dkd.eu

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	3 / 120

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Vergleichsbericht DKD-V 2-7 Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“, Ausgabe 09/2023, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20230921


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:

Jürgen Rühaak, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 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 „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	4 / 120

Vorwort

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

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

Zusammenfassung.....	7
1 Organisation	7
2 TransfERNormale.....	7
3 Teilnehmer	7
4 Messgrößen	8
4.1 Messgrößen für den NRP-Z21 Messkopf	8
4.2 Messgrößen für den NRP-Z52 Messkopf	8
4.3 Pin-Tiefe	8
4.4 Dokumentation der Messungen	8
5 Methoden der Kalibrierung	8
5.1 Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH, Memmingen	8
5.2 EMCCons DR. RAŠEK GmbH & Co. KG, Unterleinleiter.....	9
5.3 Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG, Backnang	9
5.4 Airbus Defence and Space, Manching	10
5.5 Testo Industrial Services GmbH, Kirchzarten.....	11
5.6 Hensoldt Sensors GmbH, Ulm	11
5.7 esz AG calibration & metrology, Eichenau	12
5.8 ELMTEC Ingenieurgesellschaft mbH, Königslutter am Elm	12
5.9 AMETEK CTS Europe GmbH, Berlin	13
5.10 Trescal GmbH Egmating, Egmating	13
5.11 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig	13
6 Kalibrierergebnisse des Messkopfes NRP-Z21	15
6.1 Messergebnisse der Teilnehmer	15
7 Kalibrierergebnisse des Messkopfes NRP-Z52	30
7.1 Messergebnisse der Teilnehmer	30
8 Auswertung der Messergebnisse	45
8.1 Der Vergleichs Referenzwert (comparison reference value CRV)	45
8.2 Grad der Äquivalenz und der normalisierte Fehler	46
8.3 Der Kalibrierungsfaktor des NRP-Z21	47
8.4 Der Betrag des Reflexionsfaktors des NRP-Z21	57
8.5 Die Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21	66
8.6 Die Pin-Tiefe des NRP-Z21.....	75
8.7 Der Kalibrierungsfaktor des NRP-Z52	78
8.8 Der Betrag des Reflexionsfaktors des NRP-Z52	87
8.9 Die Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52	96
8.10 Die Pin-Tiefe des NRP-Z52.....	105

9	Auswertung des Ringvergleiches	108
9.1	Resümee für den NRP-Z21	108
9.2	Resümee für den NRP-Z52	108
9.3	Resümee allgemein	108
10	Literaturverzeichnis	109
Anhang A: Technisches Protokoll		110
1	Allgemeines	110
1.1	Einführung	110
1.2	Pilotlaboratorium	110
1.3	Transport der Vergleichsnormale	110
1.4	Umlauf	110
1.5	Defekte an den Messobjekten	110
2	Die Messungen	111
2.1	Die Messobjekte	111
2.2	Umgebungsbedingungen	112
2.3	Inspektion vor der Messung und Steckerkontrolle	112
2.4	Anschluss der Messobjekte	112
2.5	Einstellungen und Messgrößen	112
2.6	Dokumentation der Messergebnisse	114
3	Auswertung des Ringvergleiches	114
4	Kosten	114
5	Teilnehmer und Umlaufplan	114
6	Adressenliste und Ansprechpersonen	115
7	Ergebnisbericht	117
7.1	Ergebnisse des NRP-Z21	117
7.2	Ergebnisse des NRP-Z52	119

Zusammenfassung

Zwischen Januar und Juni 2022 wurde von der Arbeitsgruppe 2.22 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) ein nationaler Ringvergleich für die Messgröße Hochfrequenzleistung (HF-Leistung) im N- und 3,5-mm-Verbinder durchgeführt. Für diesen Vergleich sollten die zehn Teilnehmer den Kalibrierungsfaktor und den Betrag und die Phase des Reflexionsfaktors von zwei Leistungsmessköpfen bei jeweils sieben Frequenzen bestimmen.

Das Ergebnis zeigt für alle Teilnehmer im Allgemeinen eine gute Übereinstimmung.

1 Organisation

Die Arbeitsgruppe 2.22 *Hochfrequenz-Basisgrößen* hatte sich auf Bitten des Fachausschusses *Hochfrequenz und Optik* des DKD bereiterklärt, einen nationalen Ringvergleich für ihre Mitglieder durchzuführen. Die PTB ist nicht nach DIN EN ISO/IEC 17043:2010 [1] akkreditiert; die Norm wird aber natürlich bei der Organisation von Vergleichen als Leitfaden und Referenz herangezogen.

Ziel dieses Ringvergleiches war es, akkreditierten Laboratorien eine Möglichkeit zu geben, ihre Leistung durch Vergleich mit den Ergebnissen anderer Laboratorien zu überwachen, Stichwort Eignungsprüfungen (siehe auch DIN EN ISO/IEC 17025 7.7.2).

Auf der gemeinsamen Sitzung des DKD-Fachausschusses 01 (FA01) *Gleichstrom und Niederfrequenz* und des DKD-Fachausschusses 02 (FA02) *Hochfrequenz und Optik* am 4. Oktober 2021 wurde der Umfang und der Zeitraum dieses Ringvergleiches abgestimmt.

Bei der nächsten gemeinsamen Sitzung der Fachausschüsse am 17. Mai 2022 wurden die ersten Ergebnisse, jedoch ohne Zahlenwerte, vorgestellt.

2 TransfERNormale

Als Messobjekte wurden

1. ein Drei-Pfad-Leistungssensor vom Typ NRP-Z21 mit N-Verbinder mit der Seriennummer 104135, sowie
2. ein Thermischer Leistungssensor vom Typ NRP-Z52 mit 3,5-mm-Verbinder mit der Seriennummer 120021

eingesetzt. Zusätzlich wurde ein Leistungsmessgerät vom Typ NRP2 vorgesehen. Die beiden Messobjekte sowie das Leistungsmessgerät wurden freundlicherweise von Herrn Dr. Rösel von der Firma Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH in Memmingen leihweise bereitgestellt, wofür wir uns auch im Namen der beteiligten DKD-Kalibrierlaboratorien und der DKD-Geschäftsstelle bedanken möchten.

3 Teilnehmer

Für diesen Ringvergleich wurden alle Mitglieder der Fachausschüsse *Gleichspannung und Niederfrequenz* und *Hochfrequenz und Optik* angeschrieben. Es haben sich zehn Teilnehmer bereiterklärt, an diesem Vergleich teilzunehmen. Im Einzelnen waren dies (nach Umlaufdatum):

- Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH, Memmingen
- EMCCons DR. RAŠEK GmbH & Co. KG, Unterleinleiter
- Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG, Backnang
- Airbus Defence and Space GmbH, Manching
- Testo Industrial Services GmbH, Kirchzarten
- Hensoldt Sensors GmbH, Ulm
- esz AG calibration & metrology, Eichenau
- ELMTEC Ingenieurgesellschaft mbH, Königslutter am Elm
- AMETEK CTS Europe GmbH, Berlin
- Trescal GmbH Egming, Egming

Hierbei übernahm die Arbeitsgruppe 2.22 die Funktion des Pilotlaboratoriums. Sie führte die erste Kalibrierung sowie die letzte Kalibrierung des Vergleiches durch. Weiterhin sammelte sie die Messergebnisse und bereitete sie für diesen Bericht auf.

Für die Kalibrierung hatte jedes Kalibrierlaboratorium 14 Tage Zeit, inklusive des Versands zum nächsten Teilnehmer.

4 Messgrößen

Als Messgrößen sollten der Kalibrierungsfaktor, der Reflexionsfaktor in Betrag und Phase, sowie die Pin-Tiefe (Innenleiterrücksprung) inkl. der Messunsicherheiten [2] bestimmt werden.

4.1 Messgrößen für den NRP-Z21 Messkopf

Der Sensor hat drei separate Messpfade. Kalibriert werden sollte der Pfad 1 (der empfindlichste) bei einer eingestrahnten Leistung von etwa 0,01 mW (-20 dBm). Dazu musste der Pfad 1 manuell am Leistungsmessgerät NRP2 eingestellt werden. Sowohl im Technischen Protokoll (Anhang A) als auch im Ergebnisbericht sind die Einstellungen beschrieben.

Für diesen Messkopf sollte der Kalibrierungsfaktor und der Reflexionsfaktor in Betrag und Phase bei den Frequenzen 50 MHz, 500 MHz, 1 GHz, 5 GHz, 10 GHz, 15 GHz und 18 GHz bestimmt werden. Weiterhin sollte dem Leistungsmessgerät die Messfrequenz zur internen Korrektur mitgeteilt werden.

4.2 Messgrößen für den NRP-Z52 Messkopf

Bei diesem thermoelektrische Messkopf sollte bei einer eingestrahnten Leistung von etwa 1 mW (0 dBm) der Kalibrierungsfaktor und der Reflexionsfaktor in Betrag und Phase bei den Frequenzen 50 MHz, 1 GHz, 10 GHz, 18 GHz, 20 GHz, 24 GHz und 26,5 GHz bestimmt werden. Weiterhin sollte auch hier dem Leistungsmessgerät die Messfrequenz zur internen Korrektur mitgeteilt werden.

4.3 Pin-Tiefe

Bei der Hochfrequenzmessung ist es wichtig, dass die Steckverbinder die genormten Maße einhalten. Um dieses zu dokumentieren, sollte bei beiden Messköpfen auch die Pin-Tiefe bestimmt und im Messprotokoll vermerkt werden. Im technischen Protokoll wurde das Vorzeichen nicht definiert und teilweise von den Laboratorien unterschiedlich berichtet. In der Auswertung wurde die gebräuchliche Vorzeichenregelung angewandt: negatives Vorzeichen bedeutet einen Rücksprung des Innenleiters, positives Vorzeichen bedeutet ein Vorstehen des Innenleiters.

4.4 Dokumentation der Messungen


Um die Auswertung zu vereinfachen, wurde ein Messprotokoll entworfen, welches alle Messwerte sowie eine kurze Erläuterung des Messverfahrens und der verwendeten Normale enthielt. Weiterhin sollte notiert werden, wie bzw. auf welches Kalibrierlaboratorium die Normale metrologisch rückgeführt sind.

5 Methoden der Kalibrierung

5.1 Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH, Memmingen

5.1.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Ein Rohde & Schwarz-Generator (SMA100B) wurde an das NRPC18 Kalibrierkit angeschlossen. Am Testport wurde das Messobjekt angeschlossen. Es wurden die jeweiligen Frequenzen eingestellt und mit dem NRPC18 unter Verwendung der Gamma- und Frequenz-Korrektur verifiziert. Die am Messobjekt anliegende Leistung wurde an einem NRP2 abgelesen.

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	9 / 120

Die Rückführung erfolgt über in der PTB kalibrierte Thermistor-Messköpfe.

5.1.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Ein Rohde & Schwarz-Generator (SMA100B) wurde an das NRPC33 Kalibrierkit angeschlossen. Am Testport wurde das Messobjekt angeschlossen. Es wurden die jeweiligen Frequenzen und Leistungen am Generator eingestellt und mit dem NRPC33 unter Verwendung der Gamma- und Frequenz-Korrektur verifiziert. Die am Messobjekt anliegende Leistung wurde an einem NRP2 abgelesen.

Die Rückführung erfolgt über in der PTB kalibrierte Thermistor-Messköpfe.

5.1.3 Der Reflexionsfaktor

Am Netzwerkanalyzer (R&S ZVA67) erfolgte eine Full-One-Port-Kalibrierung im Bereich 10 MHz - 18 GHz mit einem Kalibrierkit (R&S ZVZ270) bzw. im Bereich 10 MHz - 33 GHz mit einem Kalibrierkit (R&S ZVZ35).

Anschließend wurde der Reflexionsfaktor des Messobjektes bei zwei Drehstellungen gemessen.

5.1.4 Pin-Tiefe

Maury-Emco-Female-Messuhr (N Model A020D). Nach der Reinigung des Messobjektes wurde dieses auf die Messuhr mit einem Drehmomentschlüssel 18 mm/1,5 Nm aufgeschraubt und der Wert abgelesen und auf μm umgerechnet.

Maury-Female-Messuhr (APC 3.5/K Model A034E). Nach der Reinigung des Messobjektes wurde dieses auf die Messuhr mit einem Drehmomentschlüssel 8 mm / 0,9 Nm aufgeschraubt und der Wert abgelesen und auf μm umgerechnet.

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

5.2.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Das verwendete Normal ist ein Power Standard von Rohde & Schwarz vom Typ NRPC18. Als Auslesegerät wurde das mitgeschickte NRP2 verwendet.

Der Kalibriergegenstand wurde in 16 verschiedenen axialen Orientierungen vermessen. Das Messergebnis ist das arithmetische Mittel dieser Einzelmessungen. Die Frequenzkorrektur war während der Kalibrierung aktiviert. Eine Gamma-Korrektur wurde durchgeführt.

Die Rückführung des Normals erfolgt über Rohde & Schwarz.

5.2.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Die Kalibrierung wurde nicht durchgeführt.

5.2.3 Der Reflexionsfaktor

Die S-Parameter wurden mit einem Vektor-Netzwerk-Analysator (R&S ZVA40) gemessen. Dieser wurde mit einer „SOL“-Kalibrierung fehlerkorrigiert. Das verwendete Normal ist ein N-Kalibrierkit von Rosenberger vom Typ 05CK010-150 bzw. ein 3,5 mm-Kalibrierkit von Rosenberger vom Typ 03CK010-150.

5.2.4 Pin-Tiefe


NRP-Z21: Das verwendete Normal ist eine Messuhr von Sylvac vom Typ S_Dial WORK NANO Smart.

NRP-Z52: Das verwendete Normal ist eine Messuhr von Rosenberger vom Typ 03GK0KS-000.

5.3 Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG, Backnang

5.3.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Der Kalibrierungsfaktor wurde mit einem N-Powersplitter mit einem HP 8481D Powersensor und einem 26 dB-Dämpfungsglied am Referenzarm durchgeführt.

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	10 / 120

Als Bezugsnormal wurde ein bei Keysight kalibrierter HP 8481A Powersensor verwendet (UKAS akkreditiert).

5.3.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Der Kalibrierfaktor wurde mit einem 3,5 mm-Powersplitter mit einem HP 8485A Powersensor am Referenzarm durchgeführt.

Als Bezugsnormal wurde ein bei Keysight kalibrierter N8485A 033 Powersensor verwendet (UKAS akkreditiert).

5.3.3 Der Reflexionsfaktor

Der Reflexionsfaktor wurde mit einem Keysight N5225A-Netzwerkanalysator unter der Verwendung des SOL-Verfahrens bestimmt. Dabei wurde ein N-Kalibrierkit HP 85054D und eine N-Gleitlast HP 907A bzw. ein 3,5 mm Kalibrierkit HP 85052B verwendet.

5.3.4 Pin-Tiefe

Die Pin-Tiefe des NRP-Z21 wurde mit einer N-Messuhr IG-N00M-CKMT von Spectrum bestimmt. Die Pin-Tiefe des NRP-Z52 wurde mit einer 3,5 mm Messuhr IG-350M-CKMT von Spectrum bestimmt.

5.4 Airbus Defence and Space, Manching

5.4.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Der Weinschel 1870A Power Splitter mit einem NRP-Z51 als Referenzsensor an einem Port. Am zweiten Port des Splitters wurde das Normal und der Prüfling mit vorgeschaltetem 20 dB Dämpfungsglied angeschlossen. Als Normal diente ein HP 8478B Thermistor an einem Power Meter HP 432A, das mit einem Keithley 2182A verbunden war. Der Prüfling wurde in 3 Stellungen gemessen. Die Messwerterfassung und Steuerung der Geräte erfolgte über eine selbst entwickelte Software.

Die Rückführung des Normals erfolgt über die PTB.

5.4.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Der Agilent 11667C Power Splitter mit einem Rohde & Schwarz NRP-Z56 als Referenzsensor an einem Port. Der zweite Port des Splitters wurde mit einem Adapter 2,4 mm (m) auf 3,5 mm (f) bestückt, an dem sowohl Normal als auch Prüfling gemessen wurden. Das Normal war ein Rohde & Schwarz NRP-Z55. Der Prüfling wurde in 3 Stellungen gemessen. Die Messwert-erfassung und Steuerung der Geräte erfolgte über eine selbst entwickelte Software.

Die Rückführung des Normals erfolgt über Rohde & Schwarz.

5.4.3 Der Reflexionsfaktor


Zur Bestimmung des N-Reflexionsfaktors diente ein Rohde & Schwarz ZNB20 und ein HP 85054B Kalibrierkit. Es erfolgte eine SOL-Kalibrierung mit Sliding Load. Der Prüfling wurde in acht Stellungen vermessen.

Zur Bestimmung des 3,5 mm-Reflexionsfaktors diente ein vom Typ Agilent Typ E8364C Netzwerkanalyzer und ein HP 85052B Kalibrierkit. Es erfolgte eine SOL-Kalibrierung mit Sliding Load. Der Prüfling wurde in 8 Stellungen vermessen.

5.4.4 Pin-Tiefe

Nach Abgleich der N-Rosenberger-Messuhr mit dem mitgelieferten Standard wurde die Pin-Tiefe des Prüflings bestimmt. Die Pin-Tiefe ergibt sich aus dem Offset des Standards und dem Pin-Tiefen-Messwert des Prüflings.

Nach Abgleich der 3,5 mm-Feinzeiger-Messuhr aus dem Kalibrierkit HP 85052B mit dem mitgelieferten Standard wurde die Pin-Tiefe des Prüflings bestimmt. Die Pin-Tiefe ist der Ablesewert der Messuhr.

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	11 / 120

5.5 Testo Industrial Services GmbH, Kirchzarten

5.5.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Zur Messung der Referenzleistung am Prüfling wird ein N-Konnektor-Leistungstransfernnormal, bestehend aus einem fest miteinander verbundenen Splitter und Monitor-Powersensor, eingesetzt. Das Transfernormal wird durch den Anschluss des Primärnormals (Tegam M1130A) charakterisiert (Leistungsübertrag). Mit Hilfe der so bestimmten Transferfaktoren, kann die einfallende Leistung am Prüfling über den Monitor-Sensor ermittelt werden. Sowohl beim Anschluss des Primärnormals als auch des Prüflings an das Transfernormal wird eine Mismatch-Korrektur durchgeführt. Diese wird aus den (äquivalenten) Reflexionskoeffizienten der Sensoren bzw. des im Transfernormal verbauten Splitters berechnet. Die äquivalenten Reflexionskoeffizienten wurden über das Juroshek-Verfahren in VNA Tools II ermittelt. Die Messergebnisse sind der Mittelwert aus mindestens 4 Messreihen in verschiedenen Rotationspositionen.

Die Rückführung des Normals erfolgt über METAS.

5.5.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Zur Messung der Referenzleistung am Prüfling wird ein 3.5 mm-Konnektor-Leistungstransfernormal, bestehend aus einem fest miteinander verbundenen Splitter und Monitor-Powersensor, eingesetzt. Das Transfernormal wird durch den Anschluss des Primärnormals (Tegam M1130A) charakterisiert (Leistungsübertrag). Mit Hilfe der so bestimmten Transferfaktoren, kann die einfallend Leistung am Prüfling über den Monitor-Sensor ermittelt werden. Sowohl beim Anschluss des Primärnormals als auch des Prüflings an das Transfernormal wird eine Mismatch-Korrektur durchgeführt. Diese wird aus den (äquivalenten) Reflexionskoeffizienten der Sensoren bzw. des im Transfernormal verbauten Splitters berechnet. Die äquivalenten Reflexionskoeffizienten wurden über das Juroshek-Verfahren in VNA Tools II ermittelt. Die Messergebnisse sind der Mittelwert aus mindestens 4 Messreihen in verschiedenen Rotationspositionen.

Die Rückführung des Tegam M1135A Thermistor-Messkopfes zusammen mit dem Tegam 1830A Power Meter erfolgt bei METAS.

5.5.3 Der Reflexionsfaktor

Die Messwerte ergeben sich aus den Mittelwerten von mind. 4 Messungen in verschiedenen Rotationspositionen des Prüflings am jedem Frequenzpunkt. Die Einzelmessung erfolgt mit einem Network Analyzer (Keysight PNA E8364C) der zu Beginn der Messreihe 1-Port-SOL kalibriert und verifiziert wurde.

Für die Aufnahme der Rohdaten des Prüflings und der 1-Port-Kalibrierung mit einem N-Konnektor-Kalibrierkit (85054D) bzw. einem 3.5 mm-Kalibrierkit (85052D) sowie die anschließende Korrektur, wurde die Software VNA Tools II eingesetzt.

Die Rückführung des Network Analyzers erfolgt über interne Normale. Das Kalibrierkit wird bei METAS kalibriert.

5.5.4 Pin-Tiefe

Mittelwert aus Mehrfachmessung mit der N-Messuhr von Maury Microwave 299-D-017 nach Nullstellung mit Master (Rückführung über Messuhrprüfgerät).

Mittelwert aus Mehrfachmessung mit der 3,5 mm-Messuhr HP 11752-60020 nach Nullstellung mit Master (Rückführung über Messuhrprüfgerät).

5.6 Hensoldt Sensors GmbH, Ulm


5.6.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Der Kalibrierungsfaktor wurde mit einem Kalibrierkit NRPC18 bestimmt.

Die Rückführung des Kalibrierungskits erfolgte über Rohde & Schwarz Memmingen.

5.6.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Der Kalibrierungsfaktor wurde mit einem Kalibrierkit NRPC33 bestimmt.

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	12 / 120

Die Rückführung des Kalibrierungskits erfolgte über Rohde & Schwarz Memmingen.

5.6.3 *Der Reflexionsfaktor*

Der Reflexionsfaktor wurde mit einem Rohde & Schwarz ZNB40 mit dem OSM-Verfahren durchgeführt. Dabei wurde ein N-Kalibrierkit vom Typ HP 85054B bzw. ein 3,5 mm-Kalibrierkit vom Typ HP 85052B benutzt.

5.6.4 *Pin-Tiefe*

Die Pin-Tiefe wurde mit einer N-Messuhr aus dem Kalibrierkit HP 85054B bzw. aus dem 3,5 mm-Kalibrierkit HP 85054B bestimmt.

5.7 **esz AG calibration & metrology, Eichenau**

5.7.1 *Kalibrierung des NRP-Z21*

Der Kalibrierungsfaktor wurde mit einem Rohde & Schwarz NRVC mit zugehörigen Präzisionsdämpfungsglied 20 dB bestimmt unter Verwendung der S-Parameterkorrektur. Zur Verifikation dienten ein Rohde & Schwarz NRVC-B1 sowie Netzwerkanalysatoren, die mit der SOLT-Methode und datenbankbasierten Korrekturwerten der Standards kalibriert wurden.

Die Rückführung des NRVC, NRVC-B1 und des 20 dB-Dämpfungsgliedes erfolgte über ein DAkkS-akkreditiertes Laboratorium.

5.7.2 *Kalibrierung des NRP-Z52*

Der Kalibrierungsfaktor wurde mit einer Rohde & Schwarz NRPC40 bestimmt, unter Berücksichtigung der Fehlanpassung inklusive des Übergangs zwischen den 2,92 mm- und 3,5 mm-Konnektorsystemen. Zur Verifikation diente ein Rohde & Schwarz NRPC40-B1.

Die Rückführung erfolgte über ein DAkkS-akkreditiertes Laboratorium.

5.7.3 *Der Reflexionsfaktor*

Der Reflexionsfaktor wurde mit einem Rohde & Schwarz ZVA-50 Netzwerkanalysator bestimmt, die Fehlerkorrektur erfolgte mit der SOL-Methode. Es wurden datenbankbasierte Korrekturwerte der Standards verwendet.

Die Rückführung der Bezugs- und Verifikationsnormale erfolgte über das METAS, Schweiz.

5.7.4 *Pin-Tiefe*

Die Messung der Abweichung zur spezifizierten Pin-Tiefe erfolgte mit einer Maury Messuhr, die vor der Messung auf ein Längennormal, des nominellen Maßes referenziert wurde. Messuhr und Längennormal werden an das Längenlabor der esz AG angeschlossen.

5.8 **ELMTEC Ingenieurgesellschaft mbH, Königslutter am Elm**

5.8.1 *Kalibrierung des NRP-Z21*

Der Kalibrierungsfaktor wurde mit einer Substitutionsmessung in Vergleich mit einem Rohde & Schwarz-Leistungsmesskopf bestimmt. Als Normal wurde ein NRP-Messkopf benutzt.

Die Rückführung erfolgte intern.

5.8.2 *Kalibrierung des NRP-Z52*

Der Kalibrierungsfaktor wurde mit einer Substitutionsmessung in Vergleich mit einem Rohde & Schwarz-Leistungsmesskopf bestimmt. Als Normal wurde ein NRP-Messkopf benutzt.

Die Rückführung erfolgte intern.

5.8.3 *Der Reflexionsfaktor*

Der Reflexionsfaktor wurde mit Hilfe eines Rohde & Schwarz-ZVL-Netzwerkanalysators bestimmt. Die Kalibrierung erfolgte mit einem extern rückgeführten OSM-Kalibrierkit vom Typ R&S ZV-Z270.

5.8.4 *Pin-Tiefe*

Die Bestimmung der N-Pin-Tiefe erfolgte mit einer Messuhr.

Die 3,5 mm-Pin-Tiefe wurde nicht gemessen.

5.9 AMETEK CTS Europe GmbH, Berlin

5.9.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Die Kalibrierung erfolgte mit einem N-Powersplitter mit Referenzkopf und einem NRP18T.

1. messtechnisch bestimmen $k_{\text{Trans}} = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 (p_{\text{Trans}} - p_{\text{Normal}})_n$ in dB bei -20 dBm am Normal
2. messtechnisch bestimmen $k_{\text{EUT}} = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 (p_{\text{EUT}} - p_{\text{Trans}})_n$ in dB bei -20 dBm am Transfornormal.
3. rechnerische ermitteln des $K = 10^{\frac{k_{\text{EUT}} + k_{\text{Trans}}}{10}}$

n = Neukontaktierung des (Referenz-)Normal und des Prüflings

Die Rückführung erfolgt über Rohde & Schwarz.

5.9.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Die Kalibrierung erfolgte mit einem N-Powersplitter mit Referenzkopf, einem NRP18T sowie einem N- auf 3,5 mm-Adapter.

1. messtechnisch bestimmen $k_{\text{Trans}} = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 (p_{\text{Trans}} - p_{\text{Normal}})_n$ in dB bei 0 dBm am Normal
2. messtechnisch bestimmen $k_{\text{EUT}} = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 (p_{\text{EUT}} - p_{\text{Trans}})_n$ in dB bei 0 dBm am Transfornormal.
3. rechnerische ermitteln des $K = 10^{\frac{k_{\text{EUT}} + k_{\text{Trans}}}{10}}$

n = Neukontaktierung des (Referenz-)Normal und des Prüflings

Die Rückführung erfolgt über Rohde & Schwarz.

5.9.3 Der Reflexionsfaktor

Gemessen bei 0 dBm; Full 1-Port-Kalibrierung (OSM); BB = 100 Hz.
Sensor direkt auf dem VNA-Port 1 kontaktiert.

5.9.4 Pin-Tiefe

Überprüfung der N-Messuhreinstellung anhand der kalibrierten Referenz (D_{ref})
Keine Messung des 3,5 mm-Normals.

5.10 Trescal GmbH Egming, Egming

5.10.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Die Kalibrierung erfolgte mit einem NRVD und einem NRV-Z52-Messkopf.
Eine Rückführung wurde nicht angegeben.

5.10.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Die Kalibrierung erfolgte mit einem NRVD und einem NRV-Z52-Messkopf.
Eine Rückführung wurde nicht angegeben.

5.10.3 Der Reflexionsfaktor


Die Kalibrierung erfolgte mit einem HP 8510 mit einer SOL-Kalibrierung.

5.10.4 Pin-Tiefe

Die Bestimmung der Pin-Tiefe erfolgte optisch.

5.11 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Die Arbeitsgruppe 2.22 der PTB in Braunschweig hat am Anfang und am Ende des Vergleiches Kalibrierungen vorgenommen.

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	14 / 120

5.11.1 Kalibrierung des NRP-Z21

Für den Messkopf NRP-Z21 wurde ein NRVC-Messaufbau bis 18 GHz benutzt (direct comparison method). Die Ausgangsleistung eines stabilen HF-Generators bestehend aus einer HF-Quelle, einem resistiven Leistungsteiler, einem Referenzsensor und einem 20 dB-Dämpfungsglied wird mit einem in der PTB im Kalorimeter kalibrierten Normal gemessen. Anschließend wird das Normal durch das Messobjekt ersetzt und ein Vergleich mit der vom Bezugnormal angezeigten Leistung durchgeführt. Dabei werden Fehlanpassungen der Normale, des Leistungsteilers, des Dämpfungsgliedes und des Messobjektes, charakterisiert durch komplexe Reflexionsfaktoren, berücksichtigt. Diese Kalibrierung wurde mit drei Thermistor-Messköpfen durchgeführt.

5.11.2 Kalibrierung des NRP-Z52

Für den NRP-Z52 Messkopf wurden zwei Messaufbauten benutzt. Bis 18 GHz wurde der oben beschriebene Messaufbau (ohne zusätzliches Dämpfungsglied) benutzt. Hier wurde zusätzlich ein Adapter von N auf 3,5 mm benutzt und bei der Berechnung berücksichtigt. Die Kalibrierung wurde auch hier mit drei N-Thermistor-Messköpfe durchgeführt. Zwischen 18 GHz und 26,5 GHz wurde ein R220-Hohlleiterringkoppler mit einem am Nebenarm angeschlossenen Referenzmesskopf benutzt. An der Messebene wurden als Normal R220-Hohlleiter-Thermistor-Messköpfe angeschlossen. Anschließend wurde das Messobjekt über einen R220 auf 3,5 mm-Adapter angeschlossen. Auch hier wurden die Fehlanpassungen der Normale, des Ringkopplers, des Adapters und des Messobjektes über komplexe Reflexionsfaktoren berücksichtigt.

5.11.3 Der Reflexionsfaktor

Zur Bestimmung des Reflexionsfaktors Γ wurde der Leistungssensor an einen auf PTB-Normale rückgeführten Netzwerkanalysator ZVA50 angeschlossen. Das System wurde mit Kalibrierstandards entsprechend des Verbindertyps des Messobjektes zurückgeführt. Die Korrektur der Messwerte und die Kontrolle der Messunsicherheiten wurden mit Wellenwiderstandsnormale durchgeführt (SOL).

5.11.4 Pin-Tiefe

Zur Bestimmung der Pin-Tiefe des NRP-Z21-Messkopfes wurde eine Rosenberger-Messuhr vom Typ 05GK0KS benutzt, welche mit dem entsprechenden Normal (Rosenberger) kalibriert wurde.

Zur Bestimmung der Pin-Tiefe des NRP-Z52-Messkopfes wurde eine Rosenberger-Messuhr vom Typ 03GK0KS-010 benutzt, welche mit dem entsprechenden Normal (Rosenberger) kalibriert wurde.

6 Kalibrierergebnisse des Messkopfes NRP-Z21

6.1 Messergebnisse der Teilnehmer

K : Kalibrierungsfaktor

$U(K)$: Erweiterte Messunsicherheit des Kalibrierungsfaktors ($k = 2$)

$|\Gamma|$: Betrag des Reflexionsfaktors

$U(|\Gamma|)$: Erweiterte Unsicherheit des Betrages des Reflexionsfaktors ($k = 2$)

φ : Phase des Reflexionsfaktors in Grad

$U(\varphi)$: Erweiterte Messunsicherheit der Phase des Reflexionsfaktors in Grad ($k = 2$)

6.1.1 Einzelergebnisse bei 50 MHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0009	0,0081	0,00463	0,012	95,25	180
2	0,9757	0,0937	0,0062	0,0057	0,82	66,53
3	1,0014	0,0410574	0,0043	0,0065	8	9,5
4	1,0032	0,006	0,005	0,012	0	180
5	1,0022	0,011	0,0054	0,0021	1,852	23
6	1,008	0,01	0,004	0,008	1,6	180
7	1,0045	0,0199	0,0047	0,003	-0,4	40
8	1,0053	0,0199	0,0058	0,003	1,6	31,1
9	1,002	0,0032	0,005	0,005	-7	73,9
10	1,008	0,02	0,006	0,007	0,7	70
11	1,0002	0,008	0,0045	0,0031	-11,8	42,3
12	0,989417	-	0,004777	-	24,941	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z21; 50 MHz

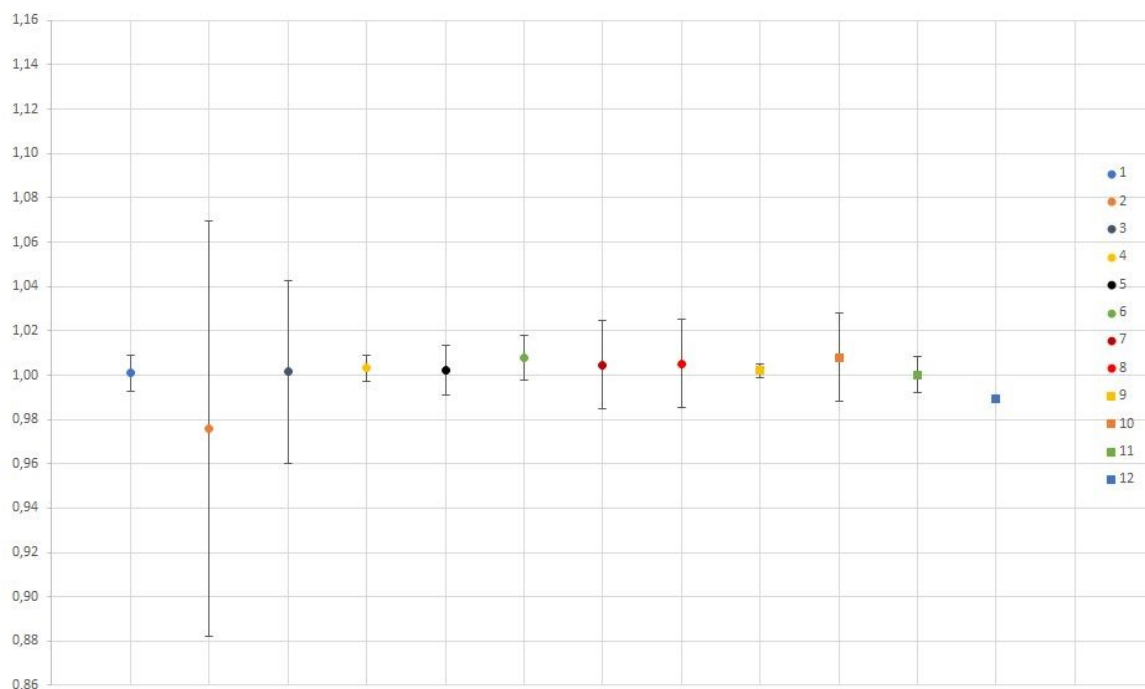


Abbildung 1: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

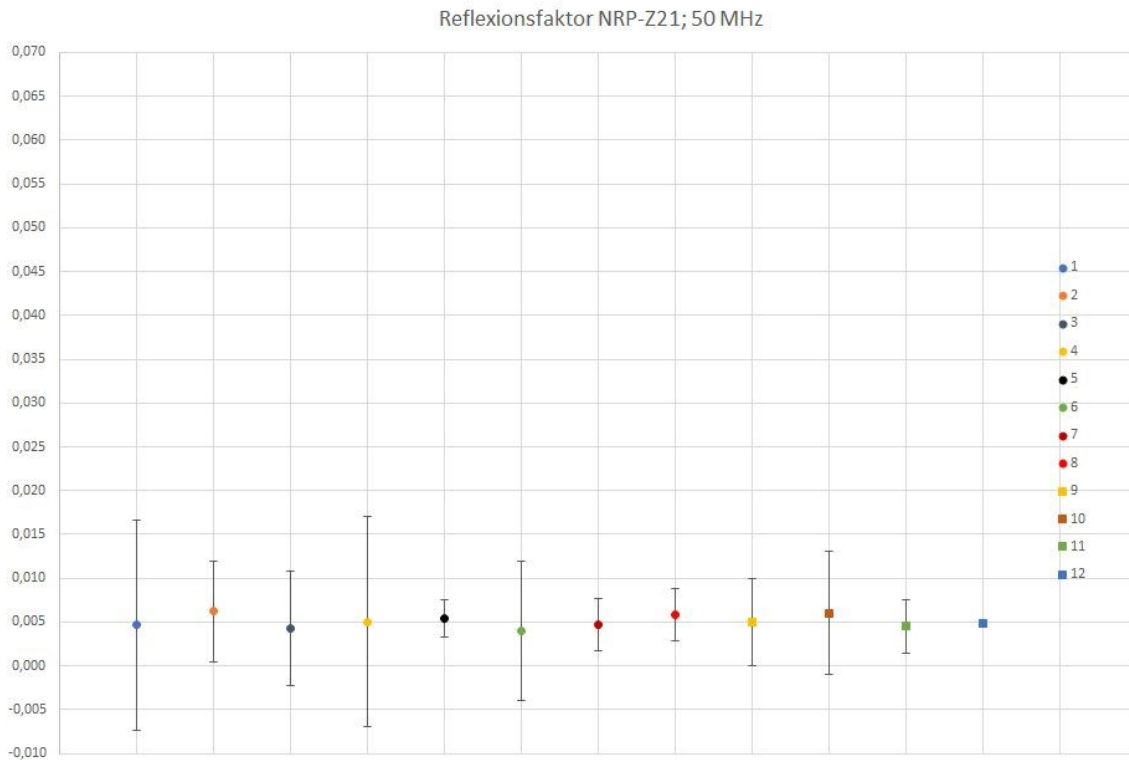


Abbildung 2: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

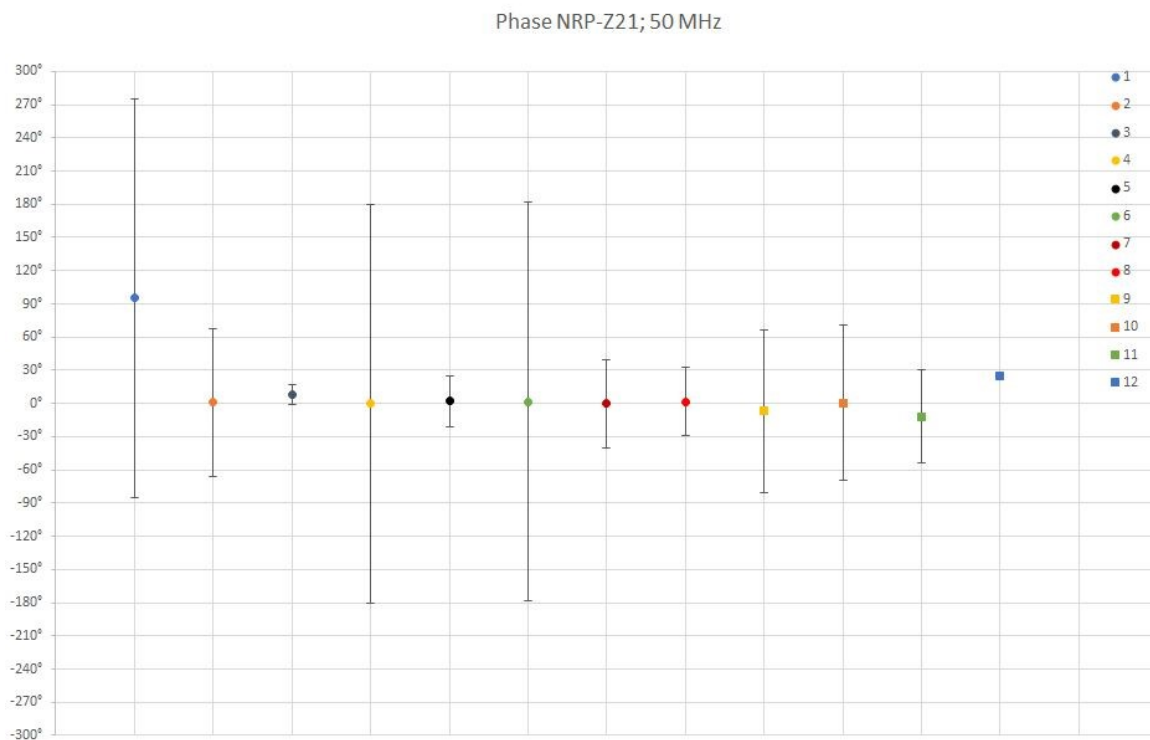


Abbildung 3: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

6.1.2 Einzelergebnisse bei 500 MHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0051	0,0112	0,00586	0,012	113,29	180
2	0,9905	0,0742	0,0075	0,0057	-22,92	49,07
3	1,0056	0,0422352	0,0062	0,0065	-12,3	9,9
4	1,0077	0,0075	0,007	0,012	-20	180
5	1,0066	0,012	0,0068	0,0022	-29,496	18
6	1,012	0,01	0,006	0,008	-28	180
7	1,0086	0,02	0,0074	0,004	-12	32,9
8	1,0097	0,0201	0,0069	0,004	-29	35,3
9	1,0069	0,0049	0,006	0,005	-24,9	54,3
10	1,013	0,026	0,008	0,007	-37,2	57
11	1,0078	0,01	0,0063	0,0031	-12,5	28,5
12	0,986243	-	0,016667	-	98,48	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z21; 500 MHz

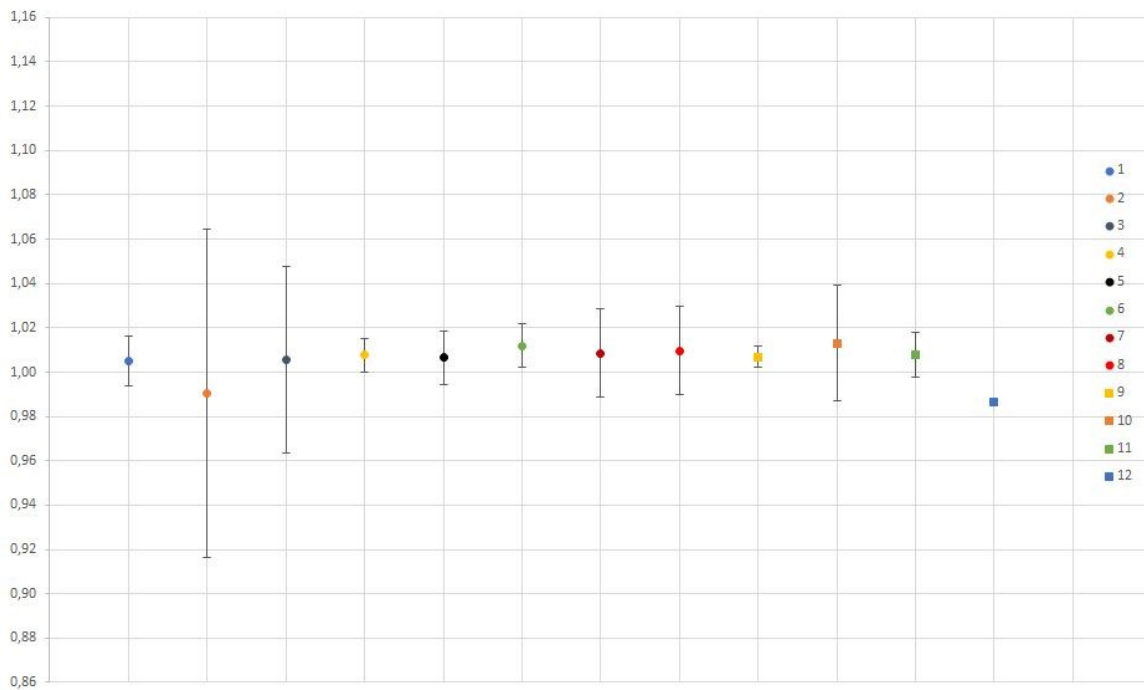


Abbildung 4: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

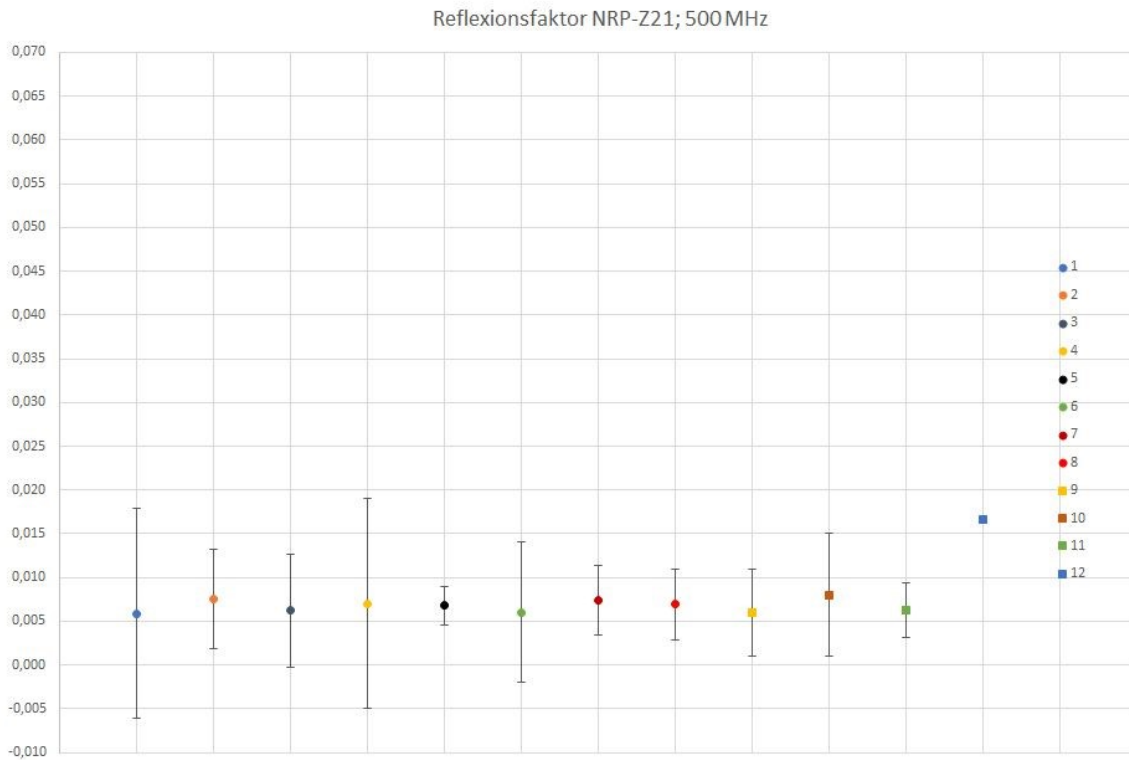


Abbildung 5: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

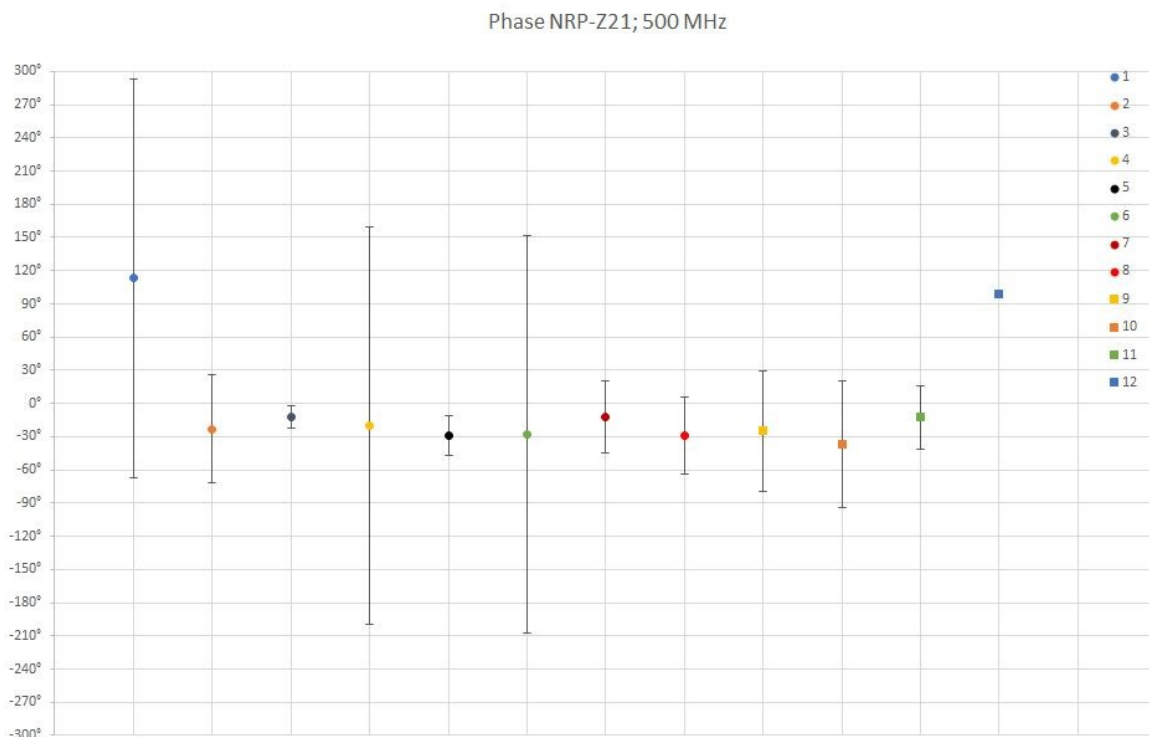


Abbildung 6: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

6.1.3 Einzelergebnisse bei 1 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0077	0,0112	0,00653	0,012	-111,78	180
2	0,9855	0,1182	0,0076	0,0057	-61,39	48,08
3	1,009	0,055495	0,0055	0,012	-64	11
4	1,0111	0,0075	0,007	0,012	-70	180
5	1,0093	0,012	0,0072	0,0023	-73,33	19
6	1,015	0,013	0,006	0,008	-68	80
7	1,0121	0,0202	0,0051	0,004	-66	51,5
8	1,01295	0,0202	0,0069	0,004	-73,1	35,1
9	1,0102	0,005	0,007	0,005	-68,9	52,1
10	1,018	0,023	0,008	0,007	-85,7	51
11	1,0105	0,01	0,0076	0,0031	-68,6	23,6
12	0,98643	-	0,007198	-	133,02	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z21; 1 GHz

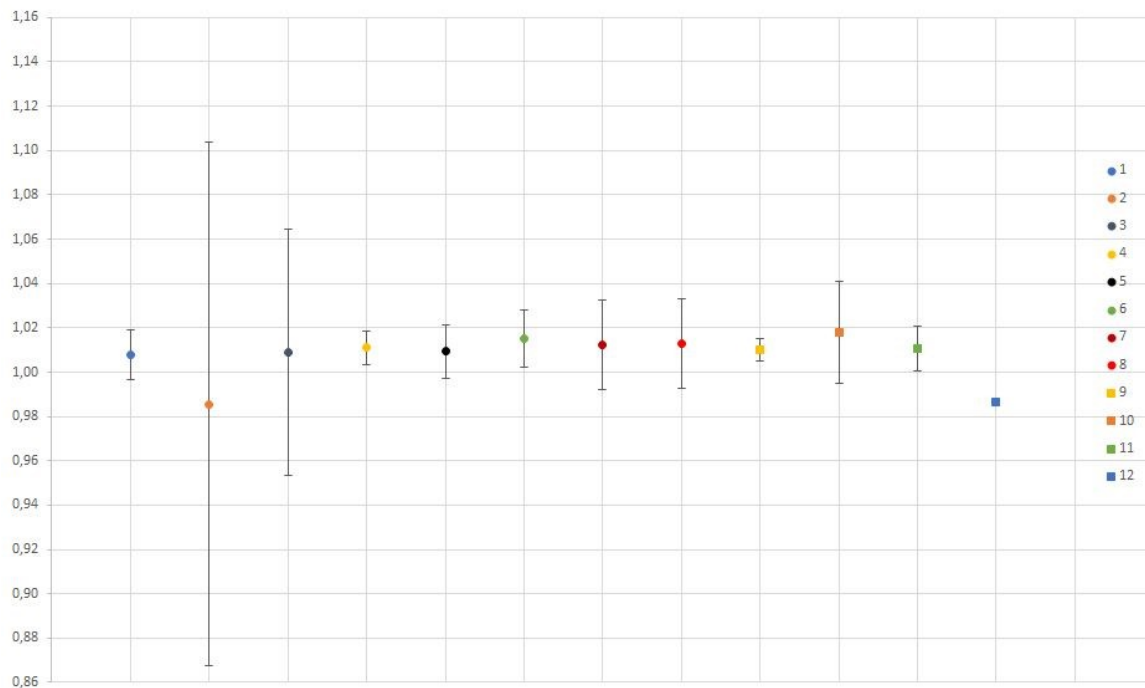


Abbildung 7: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

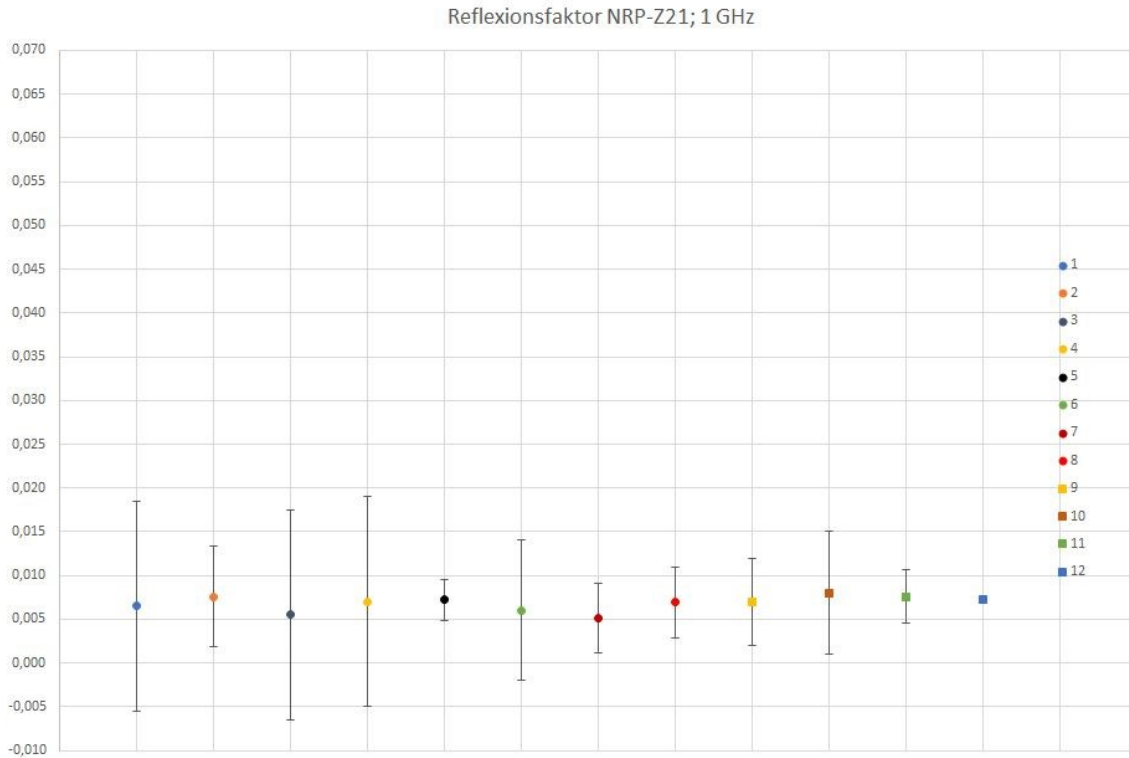


Abbildung 8: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

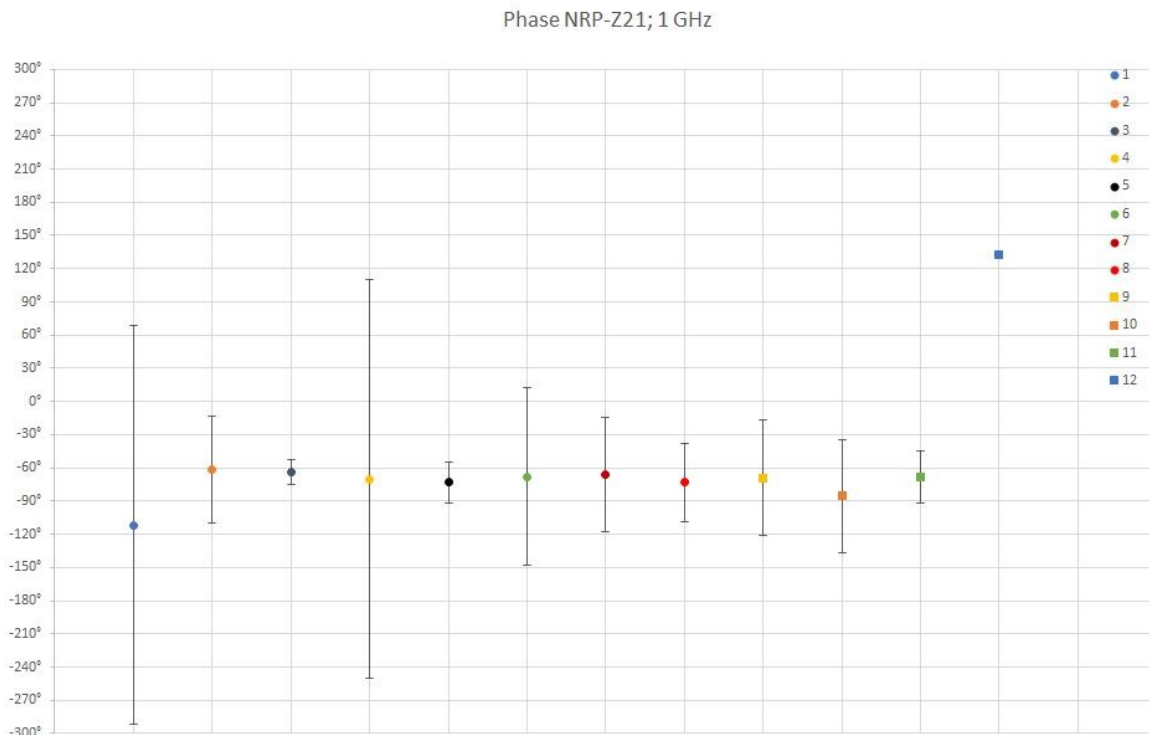


Abbildung 9: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

6.1.4 Einzelergebnisse bei 5 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0264	0,0154	0,02372	0,012	-169,1	10
2	0,9749	0,0943	0,0246	0,0077	-73,47	18,28
3	1,031	0,067015	0,0192	0,012	-144	12
4	1,0267	0,0087	0,024	0,012	-146	29
5	1,026	0,013	0,0243	0,003	-149,293	7,2
6	1,033	0,01	0,022	0,008	-147	50
7	1,0291	0,021	0,0235	0,004	-143,6	9,8
8	1,03	0,021	0,0234	0,004	-146,2	9,8
9	1,0246	0,0073	0,024	0,006	-145,9	14,4
10	1,028	0,021	0,022	0,013	-153,2	35
11	1,0259	0,01	0,0244	0,0031	-146,3	7,5
12	0,979554	-	0,012443	-	-64,852	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z21; 5 GHz

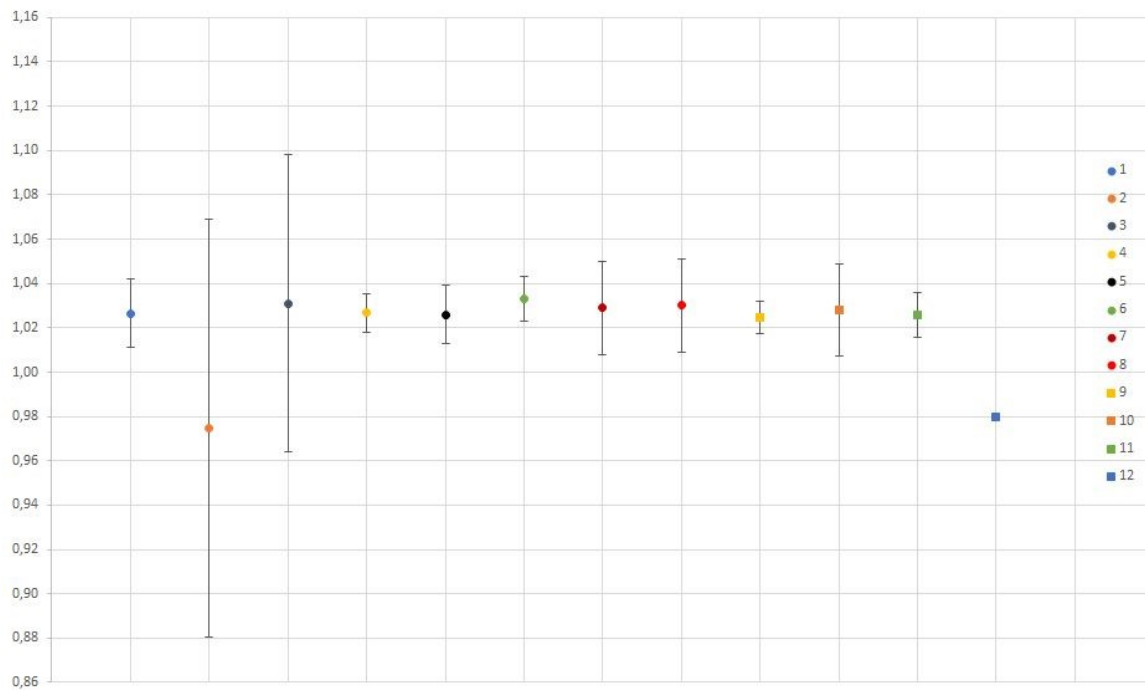


Abbildung 10: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

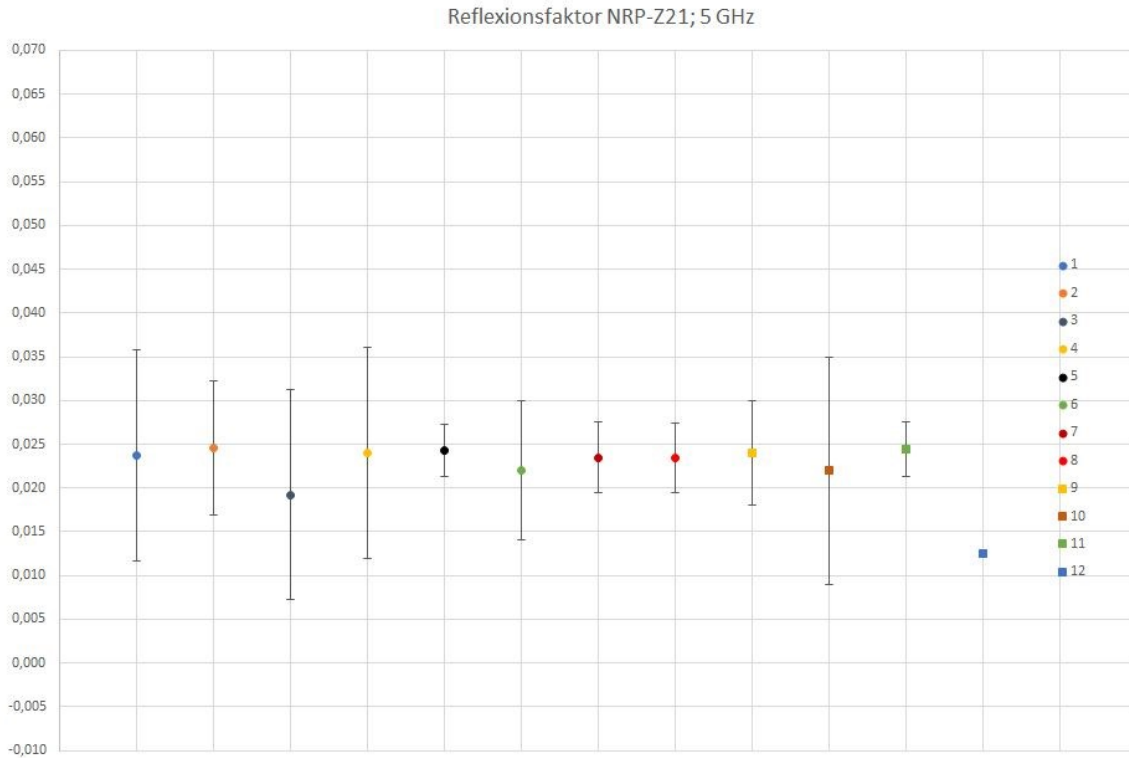


Abbildung 11: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

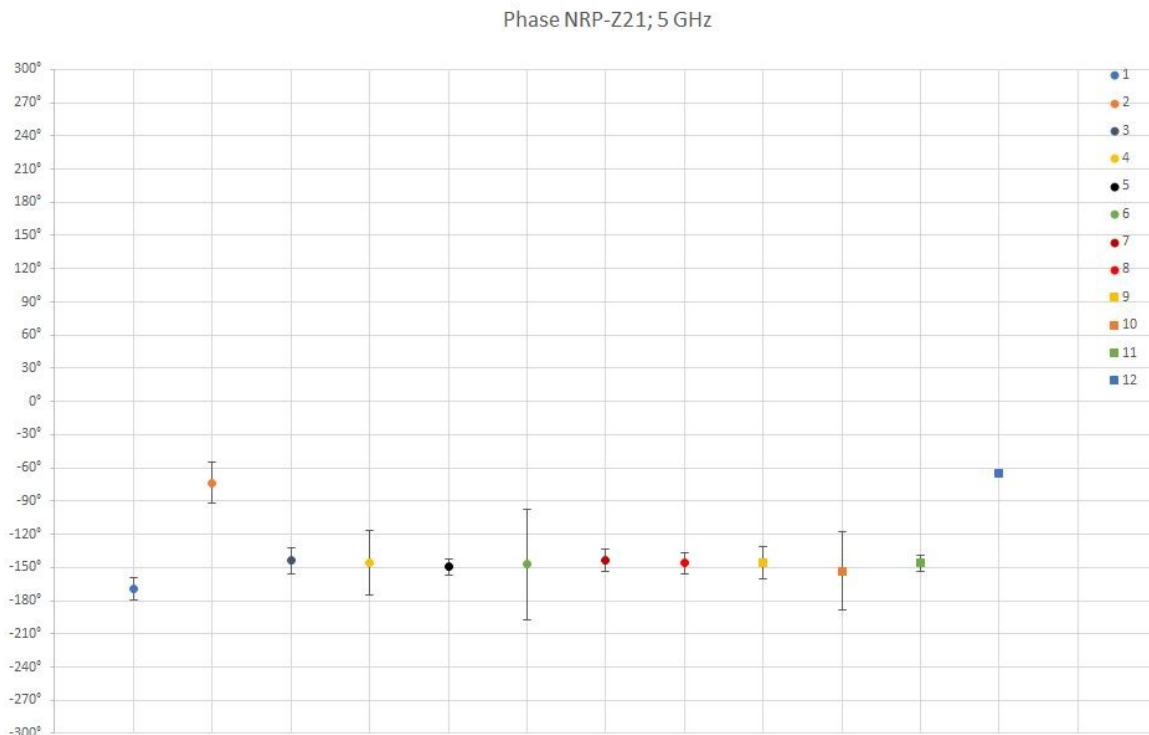


Abbildung 12: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

6.1.5 Einzelergebnisse bei 10 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0316	0,0189	0,0548	0,014	-142,9	11
2	0,9917	0,0653	0,0571	0,0109	-178,82	11,02
3	1,047	0,08376	0,0535	0,012	31	15
4	1,036	0,012	0,054	0,012	31	13
5	1,0339	0,015	0,0547	0,0079	30,84	8,2
6	1,041	0,013	0,052	0,011	29	40
7	1,0366	0,0124	0,054	0,005	30	5,3
8	1,037	0,0124	0,0537	0,005	28,4	5,3
9	1,0335	0,009	0,053	0,007	30,8	7,7
10	1,044	0,026	0,053	0,014	27,3	15
11	1,0346	0,011	0,0545	0,0032	30,7	3,7
12	0,976225	-	0,083368	-	145,52	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z21; 10 GHz

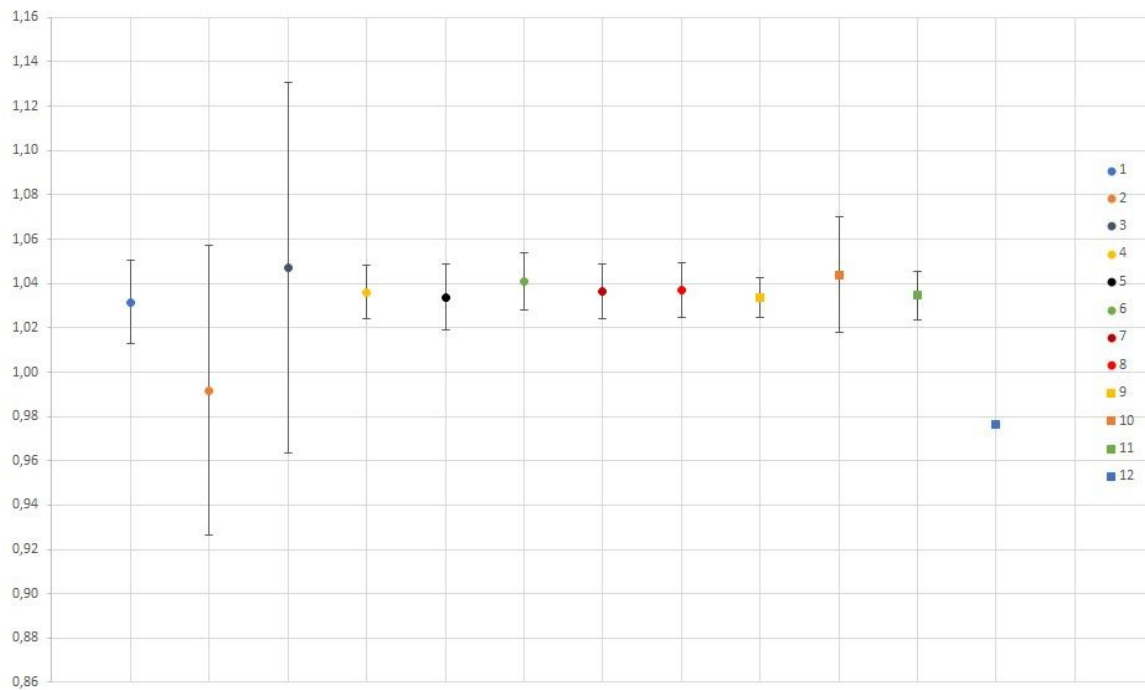


Abbildung 13: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

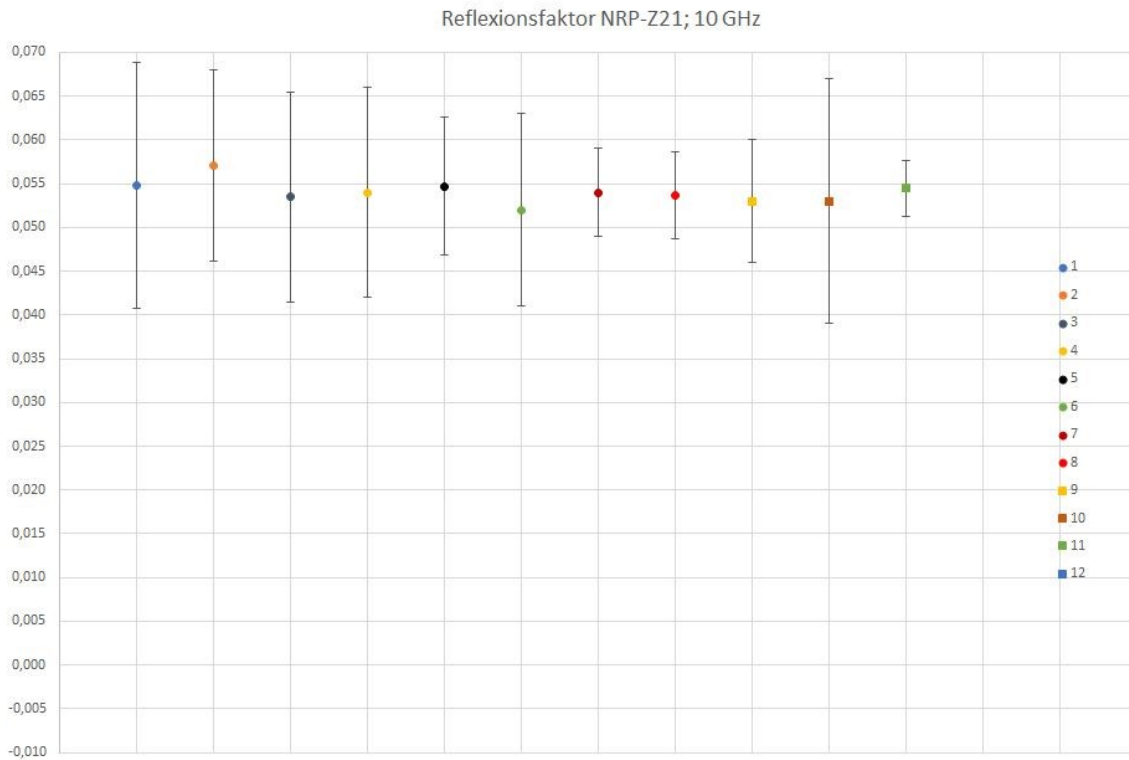


Abbildung 14: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

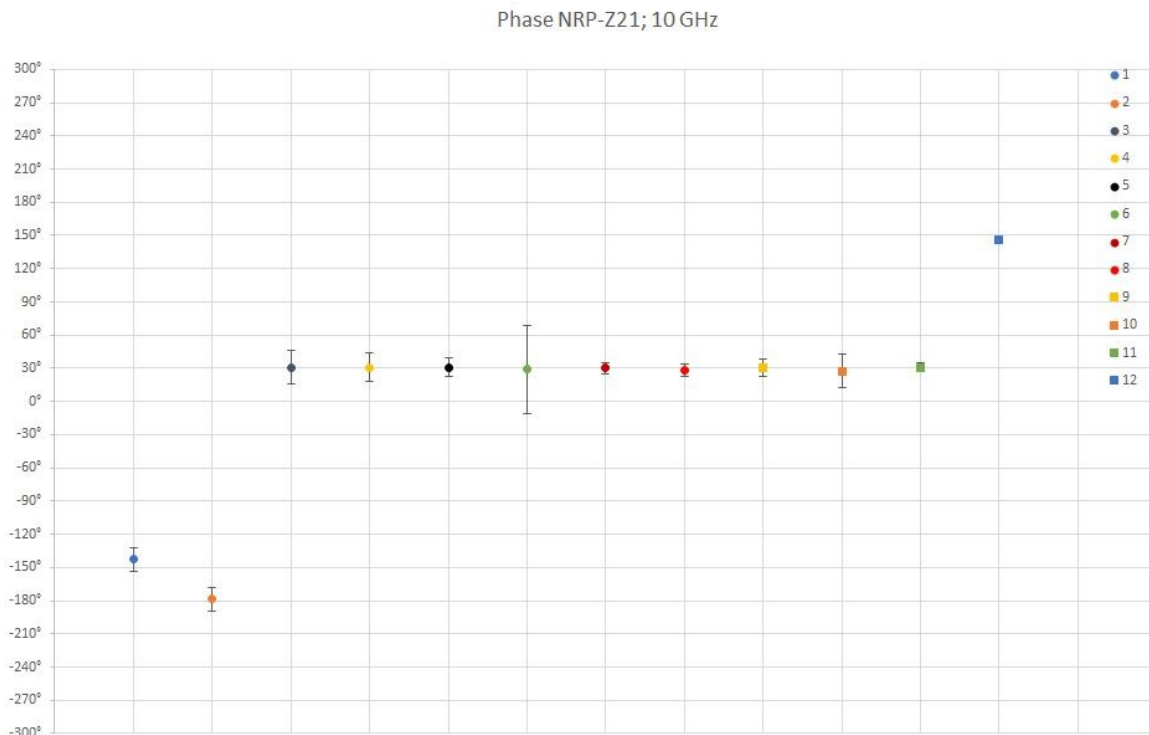


Abbildung 15: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

6.1.6 Einzelergebnisse bei 15 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0502	0,0246	0,03752	0,014	150,77	10
2	1,0037	0,0849	0,0378	0,0141	40,9	21,95
3	1,049	0,099655	0,0319	0,012	177	20
4	1,049	0,015	0,037	0,012	175	19
5	1,0456	0,016	0,0368	0,0082	173,725	13
6	1,053	0,015	0,038	0,011	175	40
7	1,0487	0,0137	0,0354	0,005	177	8,1
8	1,0503	0,0137	0,0379	0,005	178,2	7,6
9	1,0452	0,0114	0,038	0,008	173,8	11,5
10	1,049	0,032	0,041	0,014	171,1	20
11	1,0449	0,012	0,0375	0,0042	174,6	6,8
12	0,969229	-	0,03218	-	124,28	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z21; 15 GHz

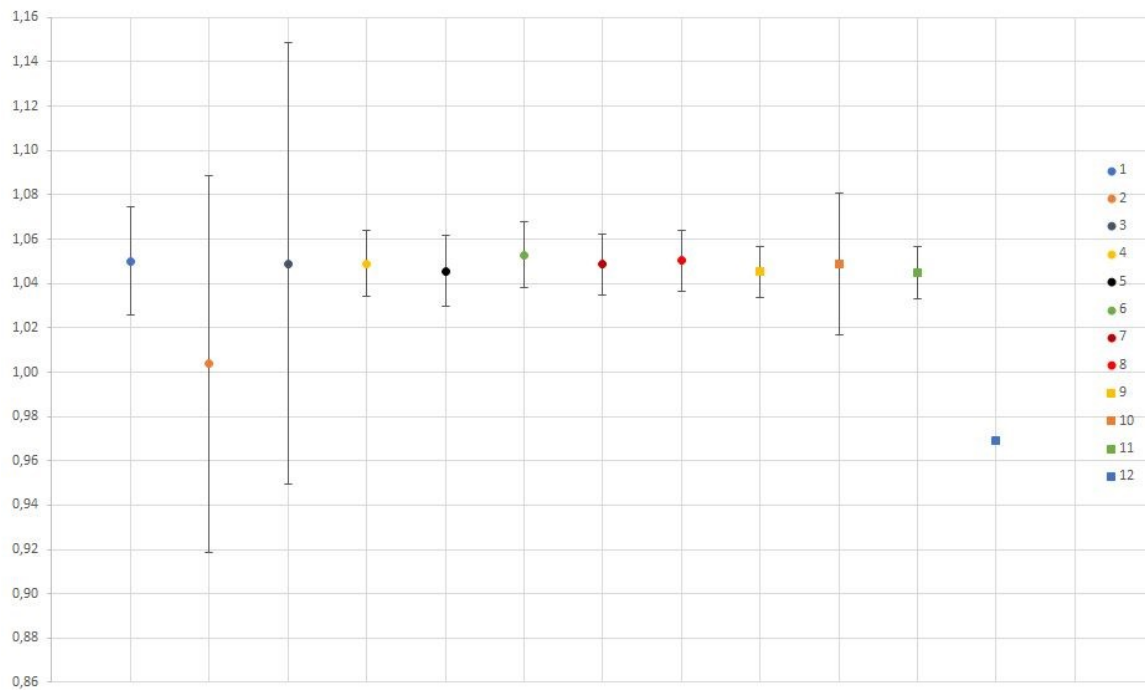


Abbildung 16: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

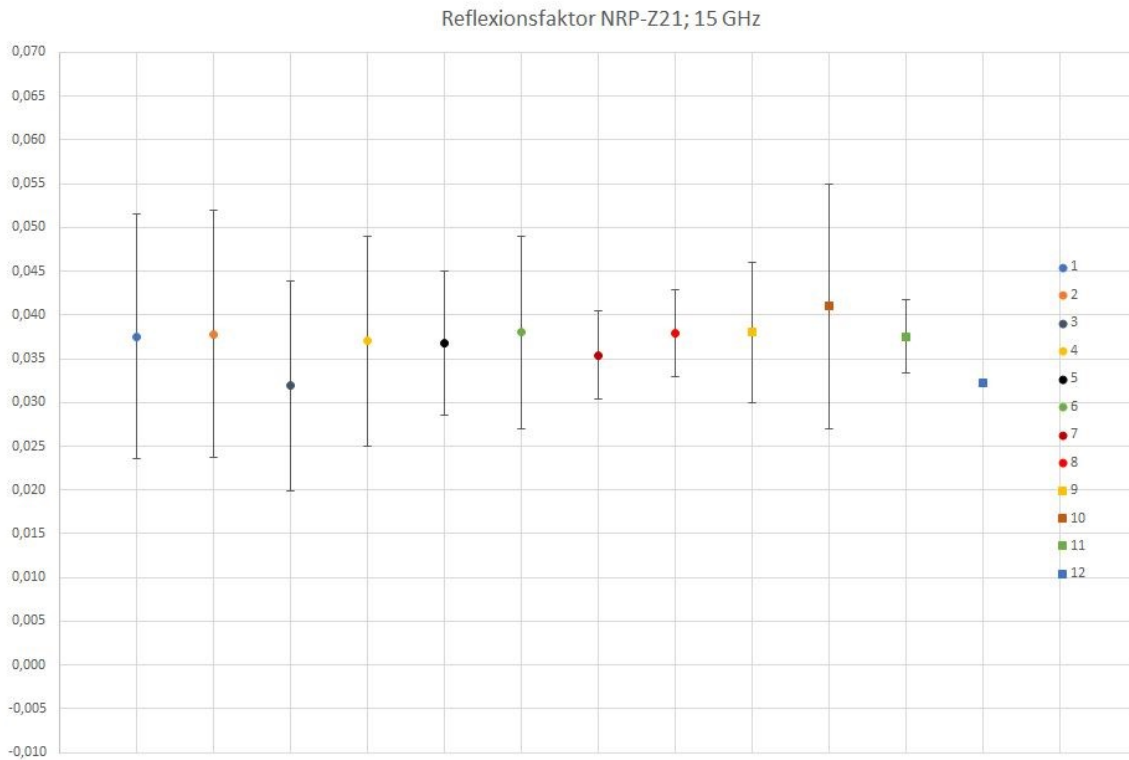


Abbildung 17: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

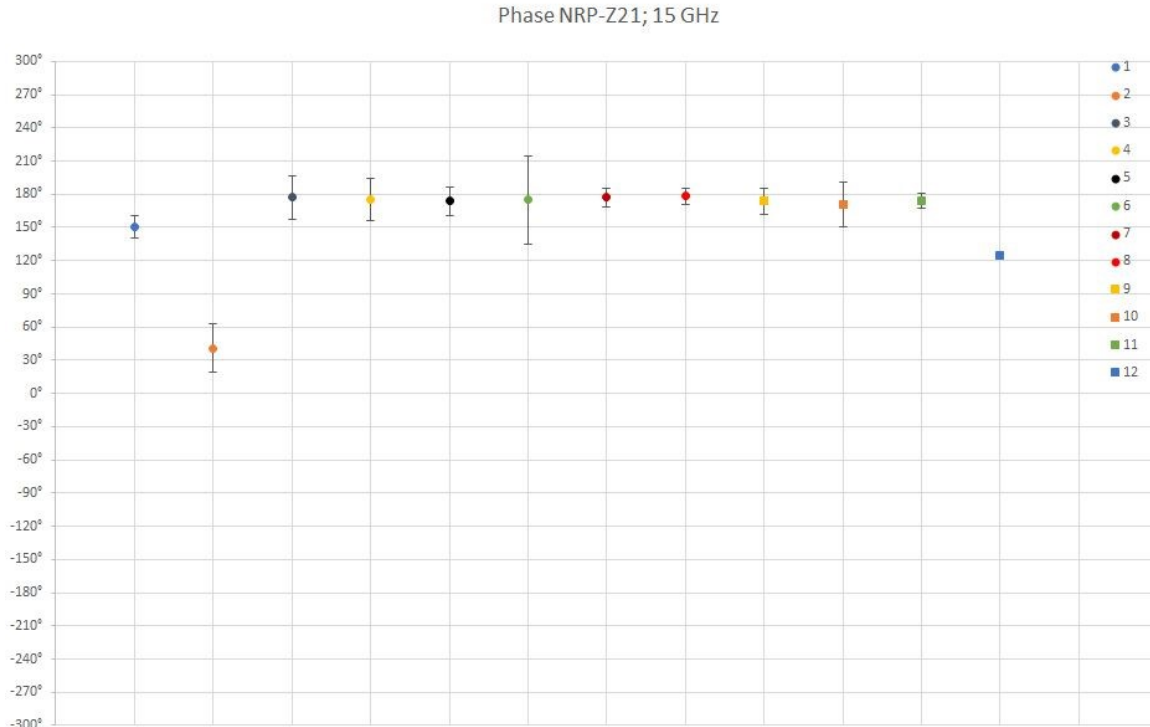


Abbildung 18: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

6.1.7 Einzelergebnisse bei 18 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0461	0,0261	0,05284	0,014	118,03	11
2	1,0055	0,0699	0,0494	0,0142	66,09	16,66
3	-	-	-	-	-	-
4	1,047	0,016	0,05	0,012	151	14
5	1,0458	0,016	0,0518	0,0085	152,476	9,3
6	1,055	0,017	0,048	0,011	148	40
7	1,0466	0,0148	0,0506	0,005	150,9	5,7
8	1,04875	0,0148	0,0515	0,005	154,5	5,6
9	1,0445	0,0117	0,051	0,008	150,1	9,1
10	1,046	0,032	0,053	0,014	147,7	15
11	1,0459	0,013	0,0526	0,0043	151,7	5,1
12	0,963553	-	0,068685	-	-38,154	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z21; 18 GHz

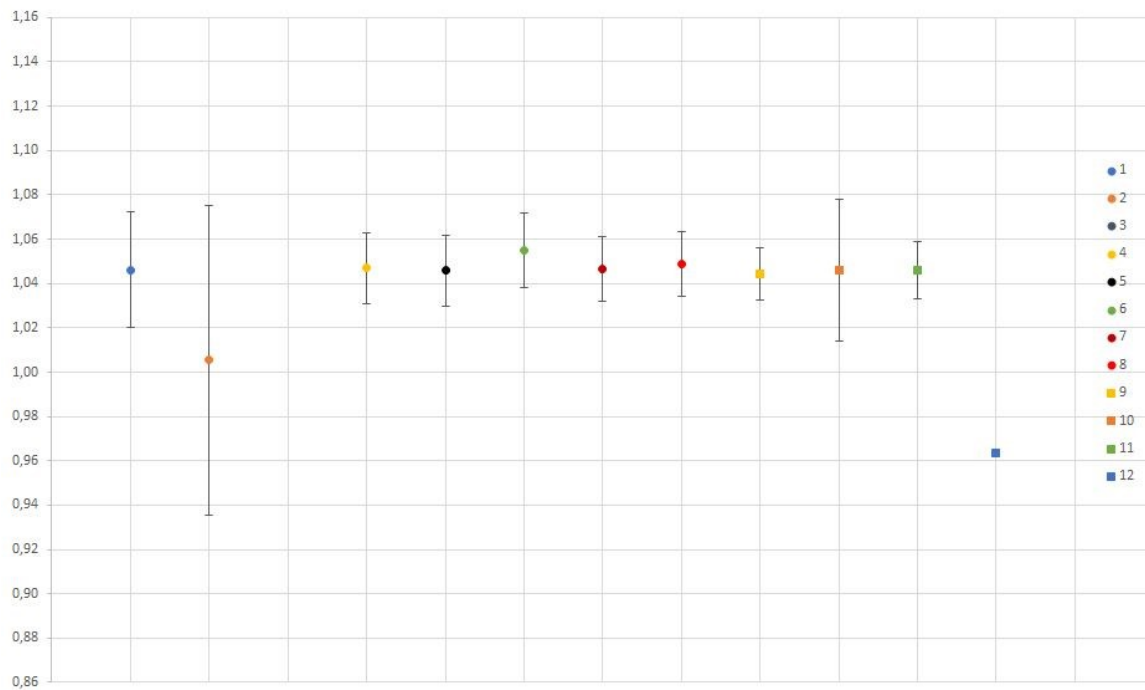


Abbildung 19: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

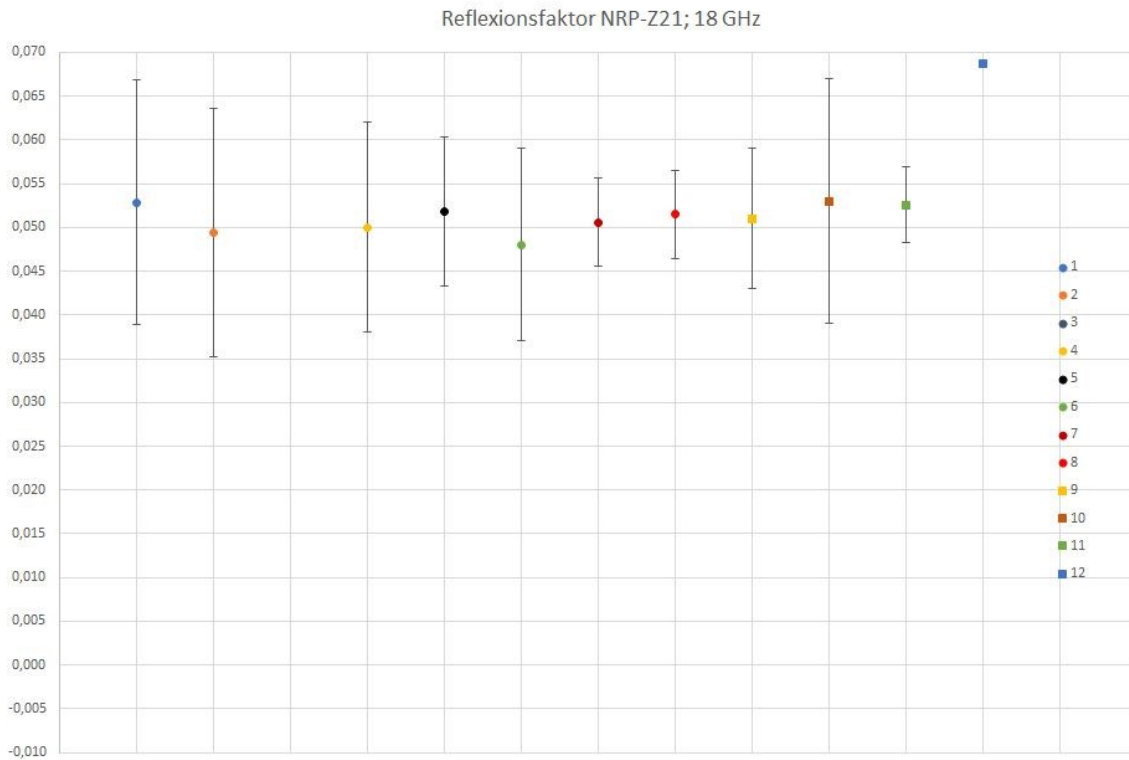


Abbildung 20: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

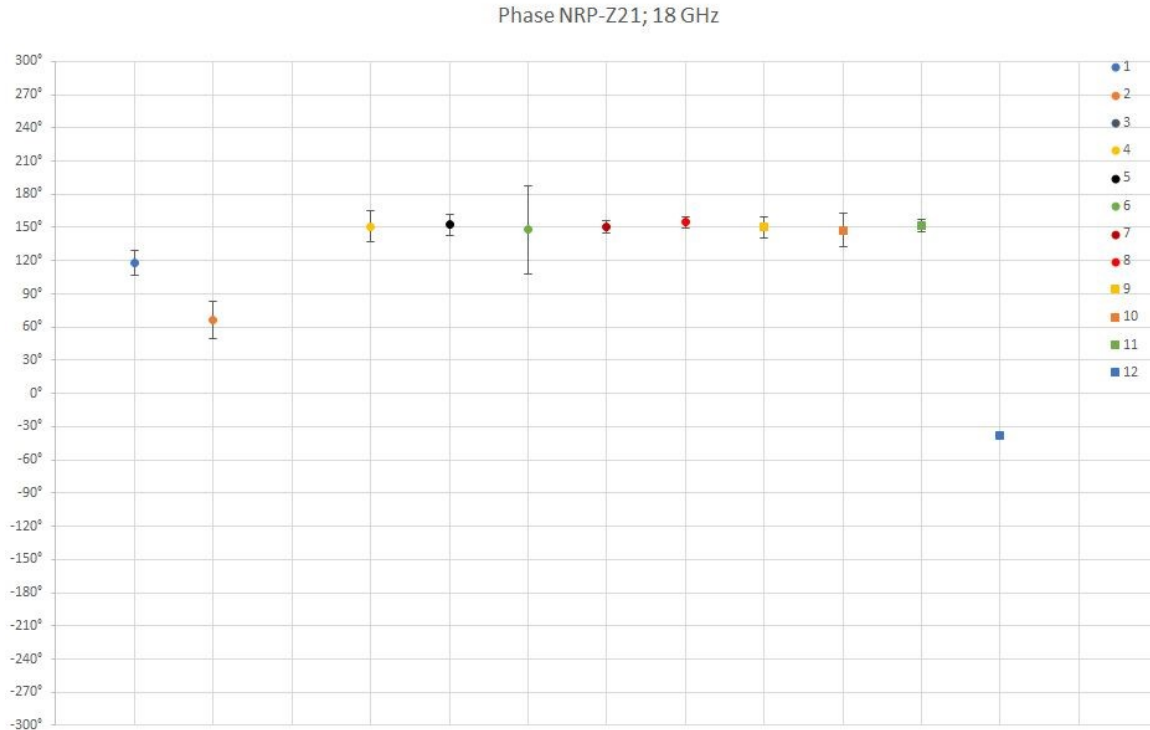


Abbildung 21: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

6.1.8 Pin-Tiefe des Messkopfes

Teilnehmer	Pin-Tiefe in μm	$U(\text{Pin-Tiefe})$ in μm
1	-55	9
2	-56	3
3	-31	15
4	-48,4	7,4
5	-49	19
6	-54	10
7	-50	10
8	-50	10
9	-50,8	10
10	-27	50
11	-50,3	5,7
12	-53,8	10

Pin-Tiefe NRP-Z21

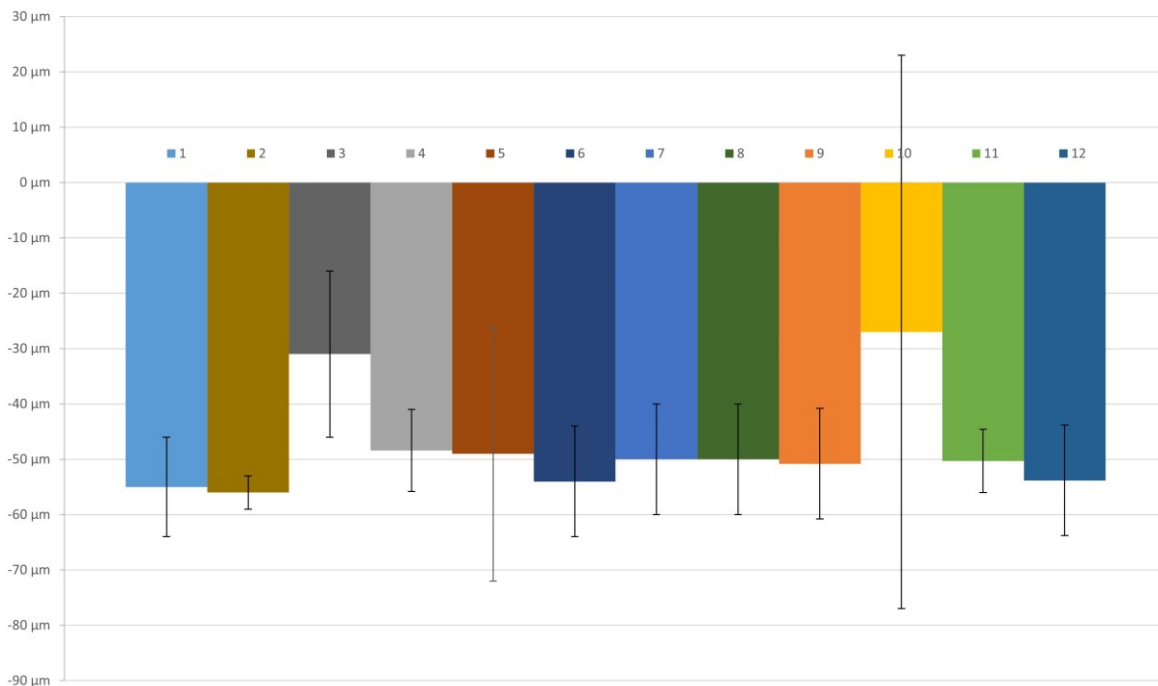


Abbildung 22: Einzelergebnisse der Pin-Tiefe des NRP-Z21

7 Kalibrierergebnisse des Messkopfes NRP-Z52

7.1 Messergebnisse der Teilnehmer

K : Kalibrierungsfaktor

$U(K)$: Erweiterte Messunsicherheit des Kalibrierungsfaktors ($k = 2$)

$|\Gamma|$: Betrag des Reflexionsfaktors

$U(|\Gamma|)$: Erweiterte Unsicherheit des Betrages des Reflexionsfaktors ($k = 2$)

φ : Phase des Reflexionsfaktors in Grad

$U(\varphi)$: Erweiterte Messunsicherheit der Phase des Reflexionsfaktors in Grad ($k = 2$)

7.1.1 Einzelergebnisse bei 50 MHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	0,9988	0,0193	0,00312	0,012	23,48	180
2	0,9996	0,0074	0,0036	0,0057	-8,2	35,8
3	1,0014	0,0470658	0,0035	0,0095	-	-
4	-	-	0,0026	0,0066	20	180
5	1,0009	0,007	0,0029	0,003	25,49	40
6	1,001	0,01	0,002	0,008	28	180
7	1,0012	0,0062	0,0026	0,003	25,7	180
8	1,0007	0,0062	0,0027	0,003	25,3	180
9	1,0004	0,0068	0,003	0,005	24,2	180
10	1	0,018	0,001	0,006	66,5	180
11	1,001	0,009	0,0028	0,0031	25	90,1
12	0,792576	-	0,005074	-	-18,915	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z52; 50 MHz

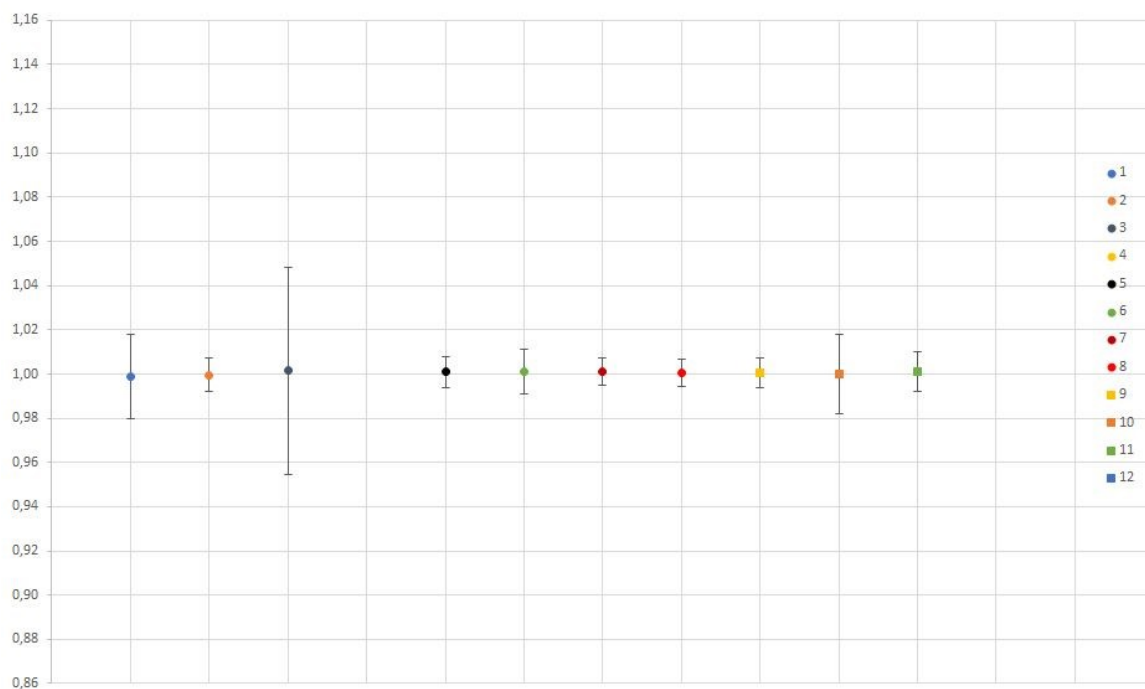


Abbildung 23: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

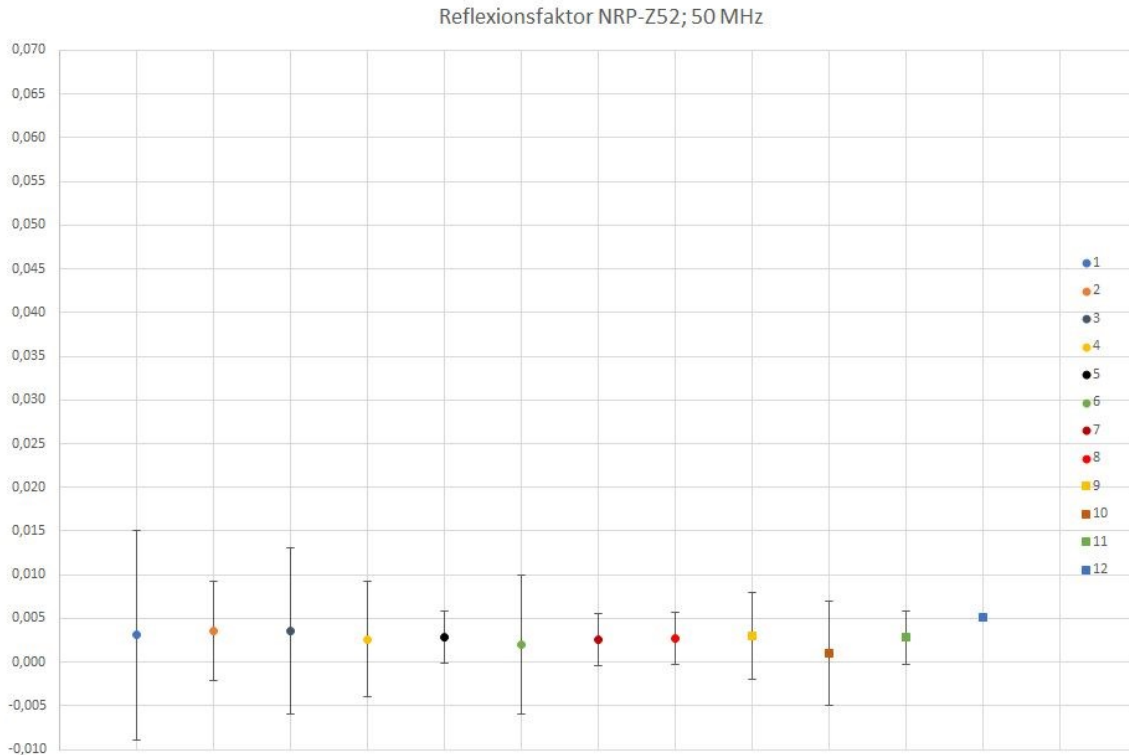


Abbildung 24: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

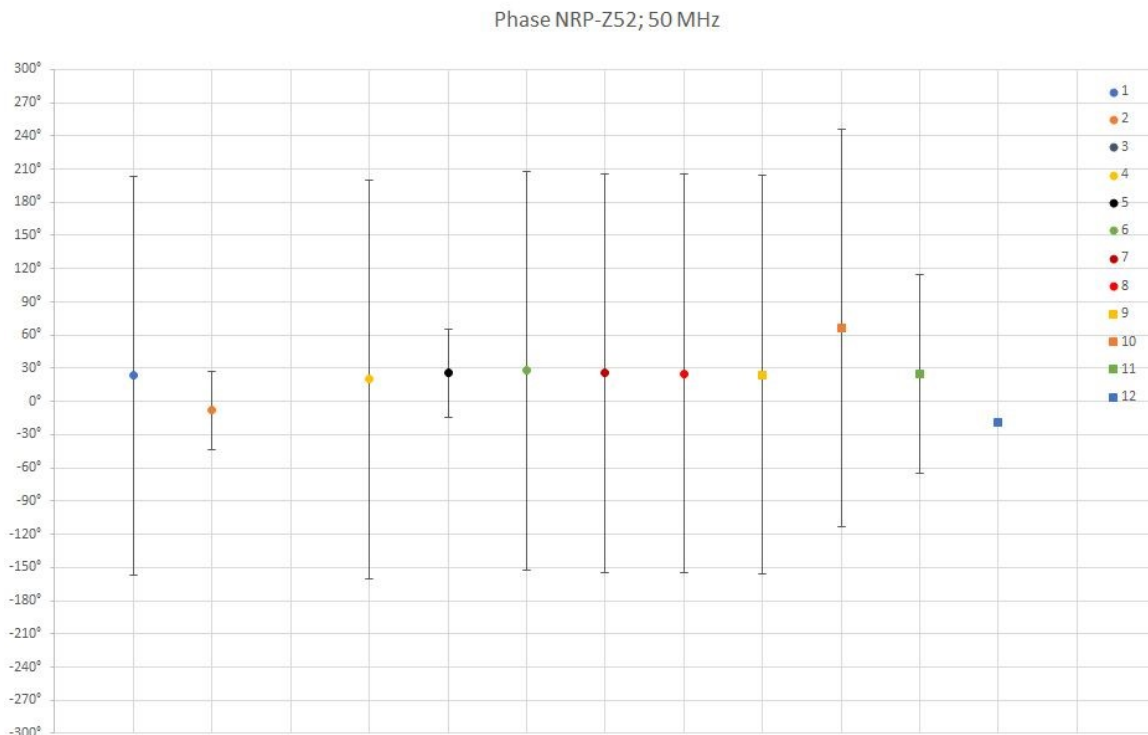


Abbildung 25: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

7.1.2 Einzelergebnisse bei 1 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0003	0,0272	0,01449	0,012	-1,87	10
2	1,0013	0,0074	0,0178	0,0057	-2,4	14
3	1,0081	0,0655265	0,0114	0,0095	-	-
4	-	-	0,0143	0,0065	0	28
5	1,0032	0,009	0,0149	0,003	0,81	9
6	1,004	0,01	0,013	0,008	1	80
7	1,0032	0,0062	0,0143	0,003	3,2	12,1
8	1,0034	0,0063	0,0144	0,003	2,4	12,1
9	1,0023	0,0096	0,015	0,006	1,5	22
10	1,002	0,021	0,012	0,006	3,5	30
11	1,0024	0,01	0,0149	0,0031	1	11,9
12	0,906703	-	0,017199	-	168,33	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z52; 1 GHz

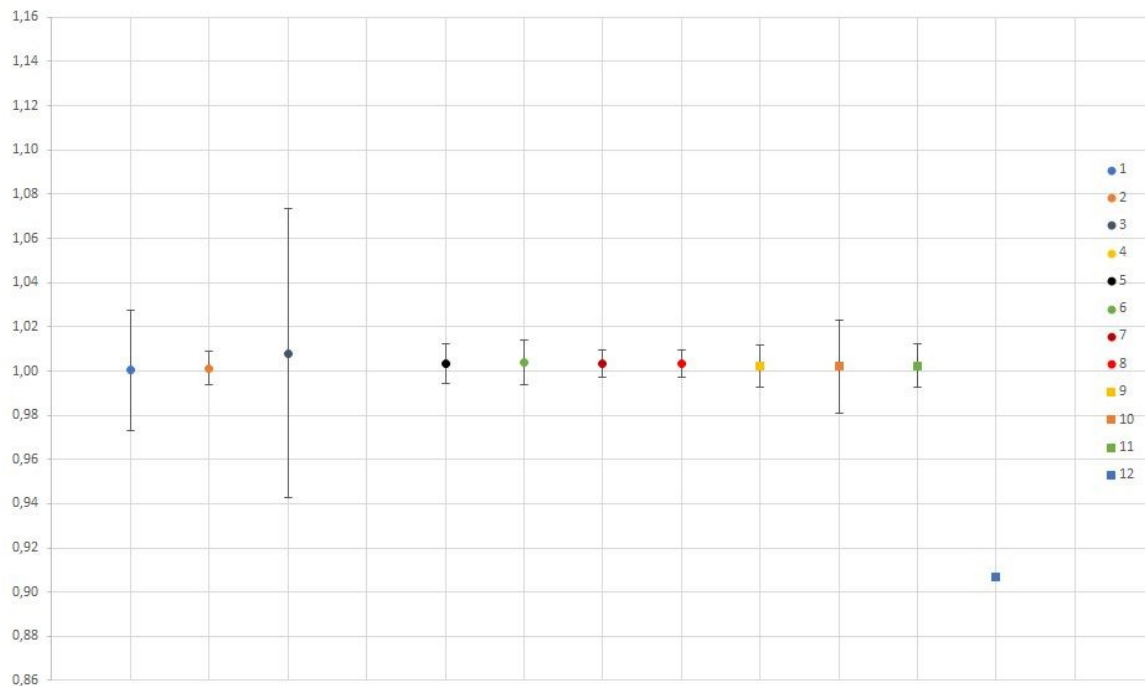


Abbildung 26: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

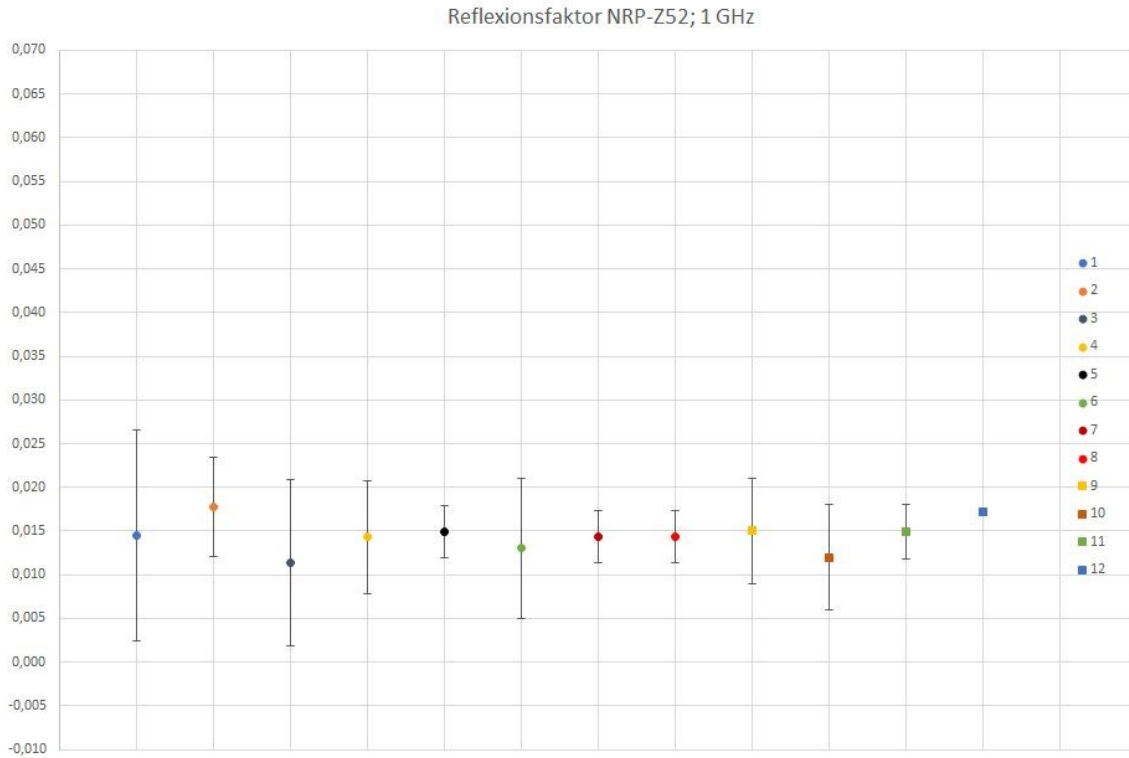


Abbildung 27: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

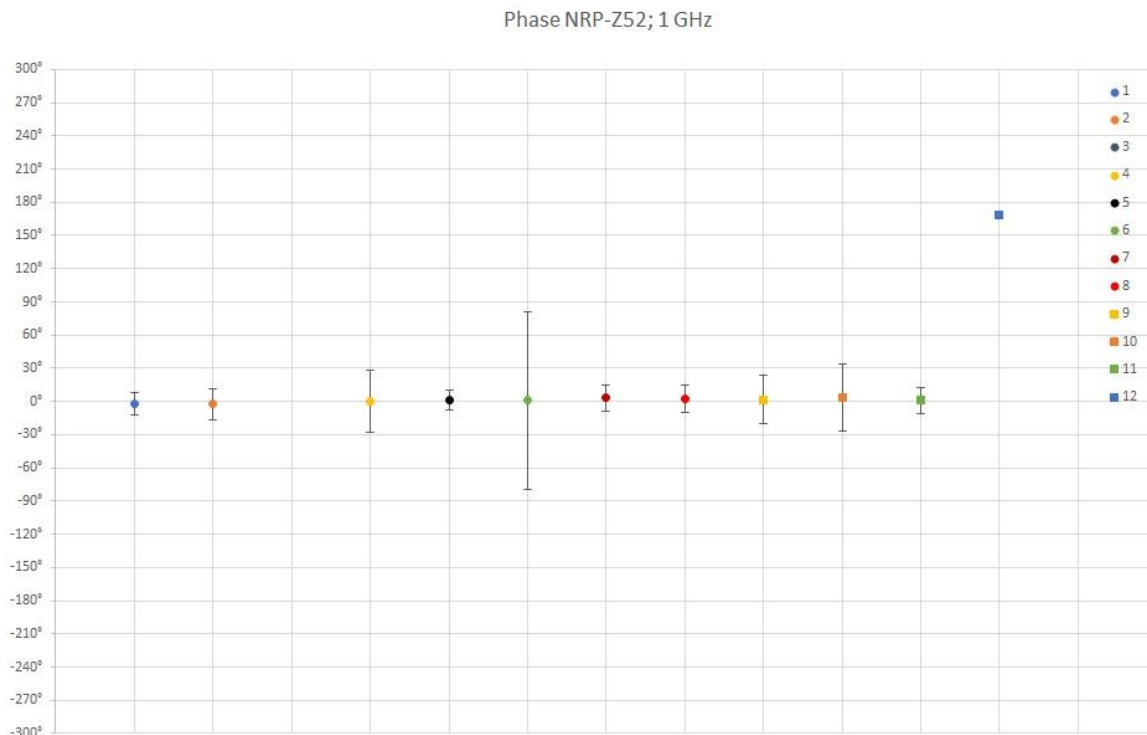


Abbildung 28: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

7.1.3 Einzelergebnisse bei 10 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0095	0,0371	0,03844	0,014	96,79	10
2	0,9924	0,016	0,045	0,0109	-1,9	72,1
3	1,039	0,098705	-	-	-	-
4	-	-	0,0391	0,0069	97	11
5	1,0133	0,009	0,0392	0,004	96,537	5
6	1,015	0,013	0,038	0,011	96	40
7	1,0135	0,009	0,0388	0,004	97,1	5,9
8	1,0155	0,009	0,0368	0,004	97	6,2
9	1,012	0,0129	0,04	0,011	94,5	15,3
10	1,013	0,025	0,037	0,011	97,4	17
11	1,0142	0,013	0,0375	0,0032	96,4	5,1
12	0,943736	-	0,064065	-	64,371	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z52; 10 GHz

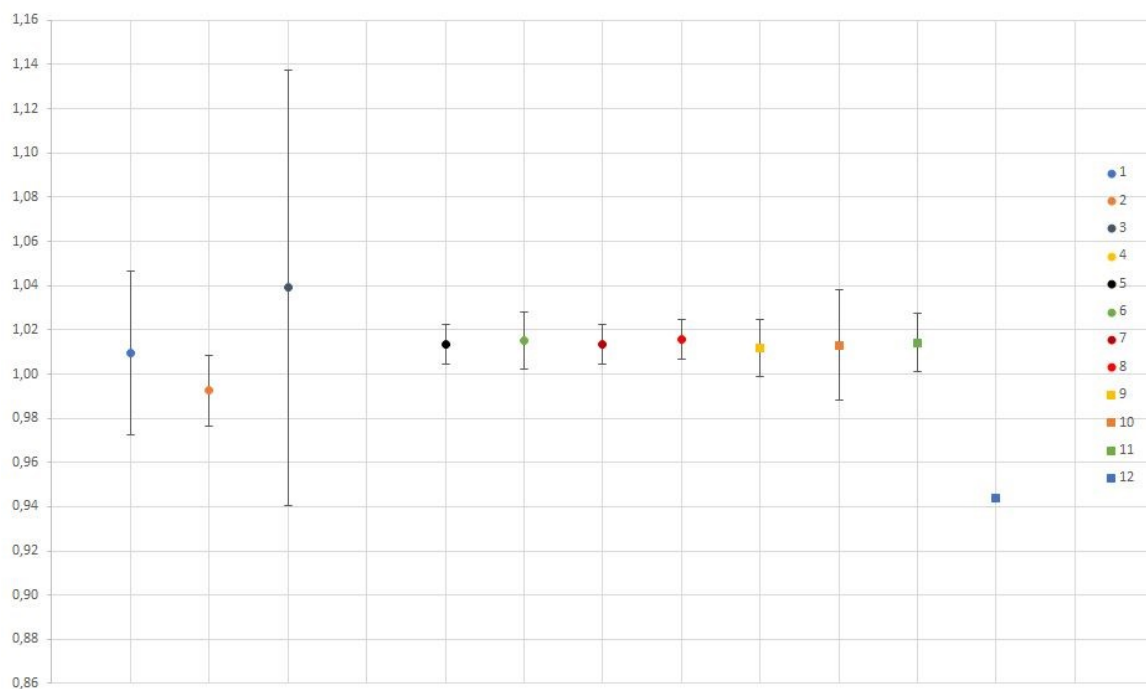


Abbildung 29: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

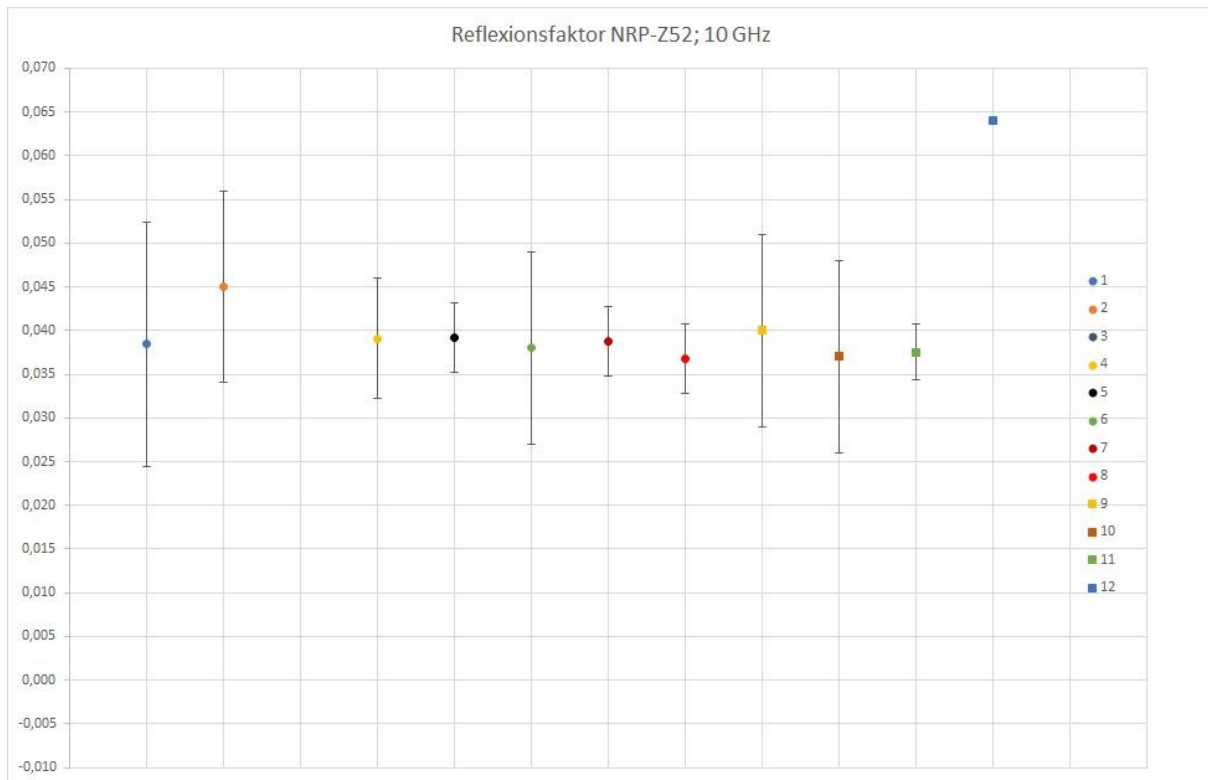


Abbildung 30: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

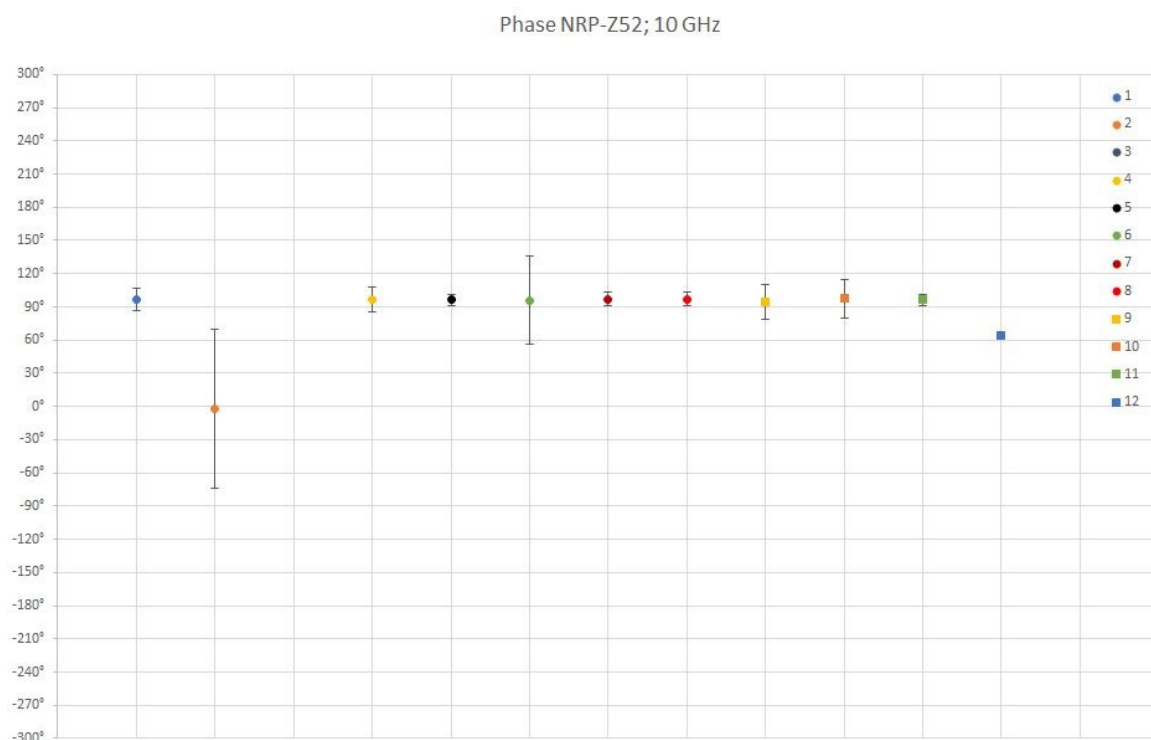


Abbildung 31: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

7.1.4 Einzelergebnisse bei 18 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0043	0,0428	0,02446	0,014	-88,18	10
2	0,9936	0,021	0,0316	0,0141	-3,2	-135,1
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	0,0251	0,0079	-90	19
5	1,0102	0,012	0,0259	0,005	-88,56	11
6	1,014	0,011	0,024	0,011	-90	40
7	1,0092	0,0127	0,0255	0,007	-89,5	15,9
8	1,0142	0,0105	0,0269	0,007	-87,5	15,1
9	1,0132	0,0145	0,028	0,01	-89,6	20,9
10	1,003	0,031	0,027	0,011	-87,3	23
11	1,0107	0,017	0,0256	0,0042	-84,7	9,7
12	0,953808	-	0,035633	-	-119,52	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z52; 18 GHz

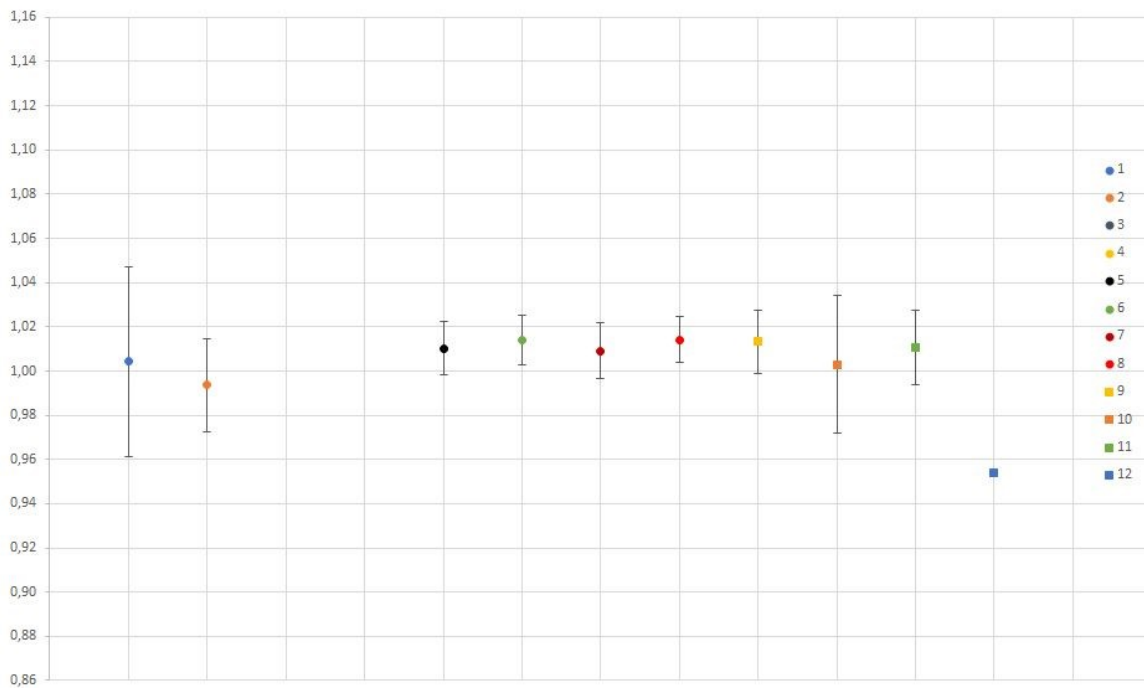


Abbildung 32: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

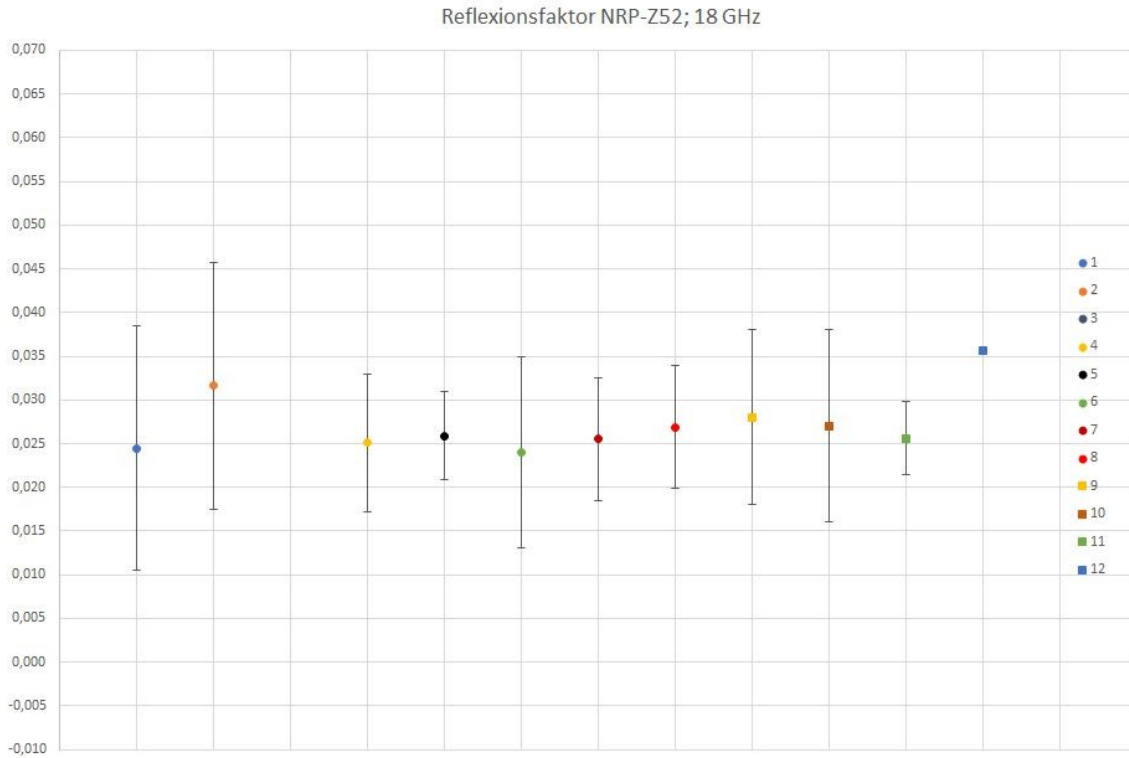


Abbildung 33: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

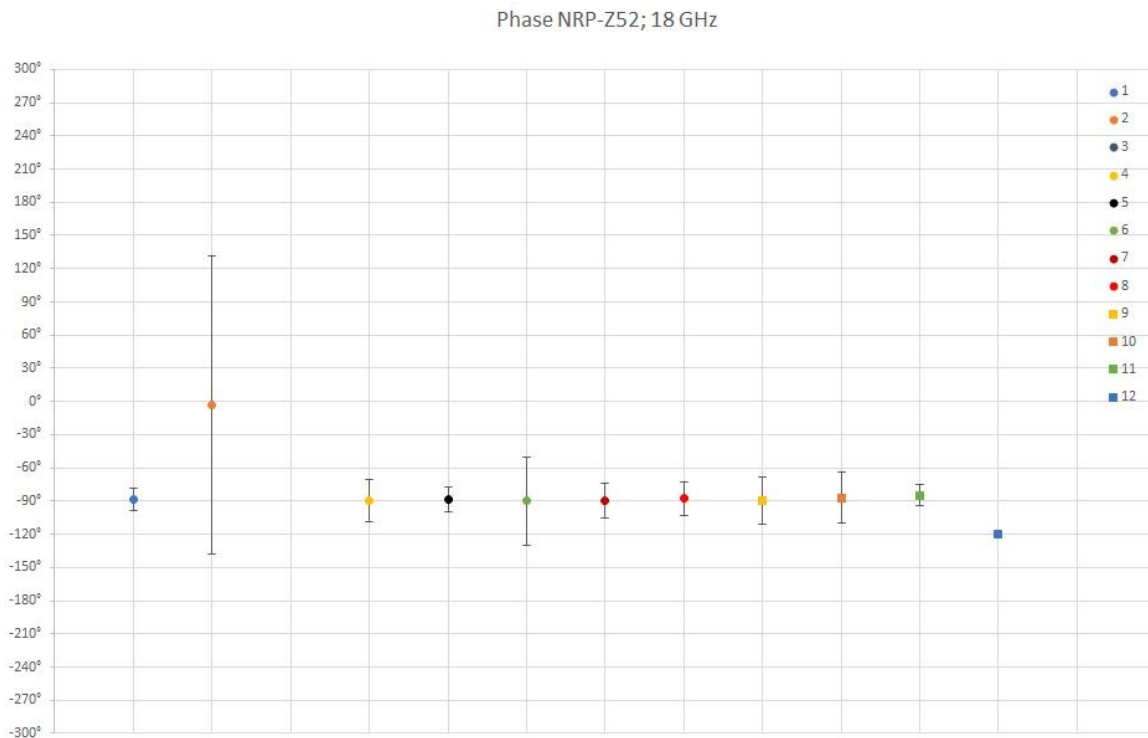


Abbildung 34: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

7.1.5 Einzelergebnisse bei 20 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0118	0,0428	0,03105	0,014	113,8	10
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	0,032	0,012	116	22
5	1,0184	0,012	0,0304	0,006	115,629	11
6	1,022	0,011	0,029	0,011	119	20
7	1,0127	0,012	0,0308	0,007	118	13,2
8	1,0201	0,013	0,0284	0,007	115,5	14,3
9	1,019	0,0145	0,032	0,012	121,4	22,7
10	1,013	0,03	0,028	0,011	116,6	22
11	1,0129	0,02	0,0292	0,0042	112,6	8,7
12	0,962678	-	0,066685	-	94,141	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z52; 20 GHz

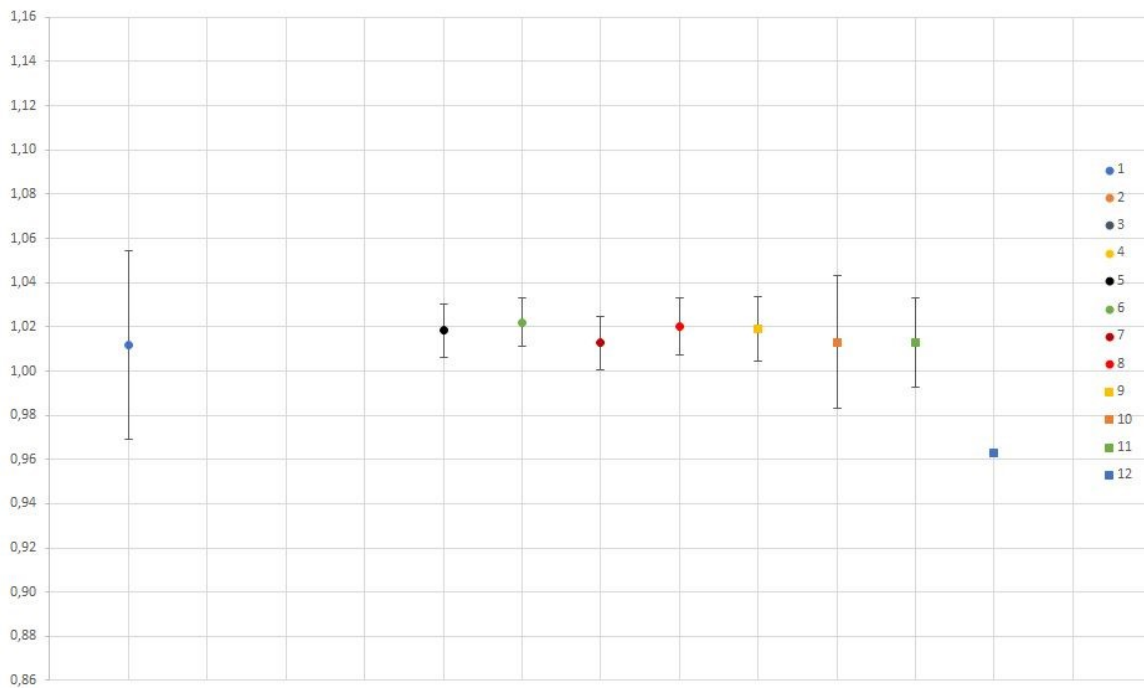


Abbildung 35: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

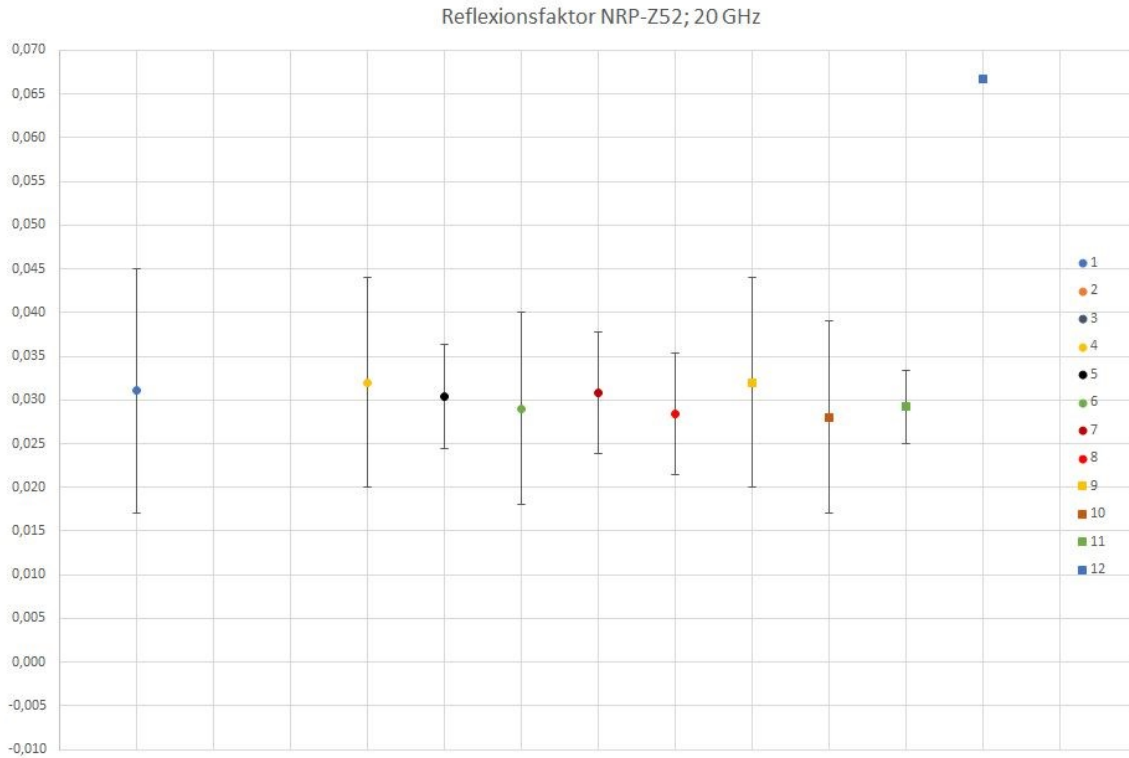


Abbildung 36: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

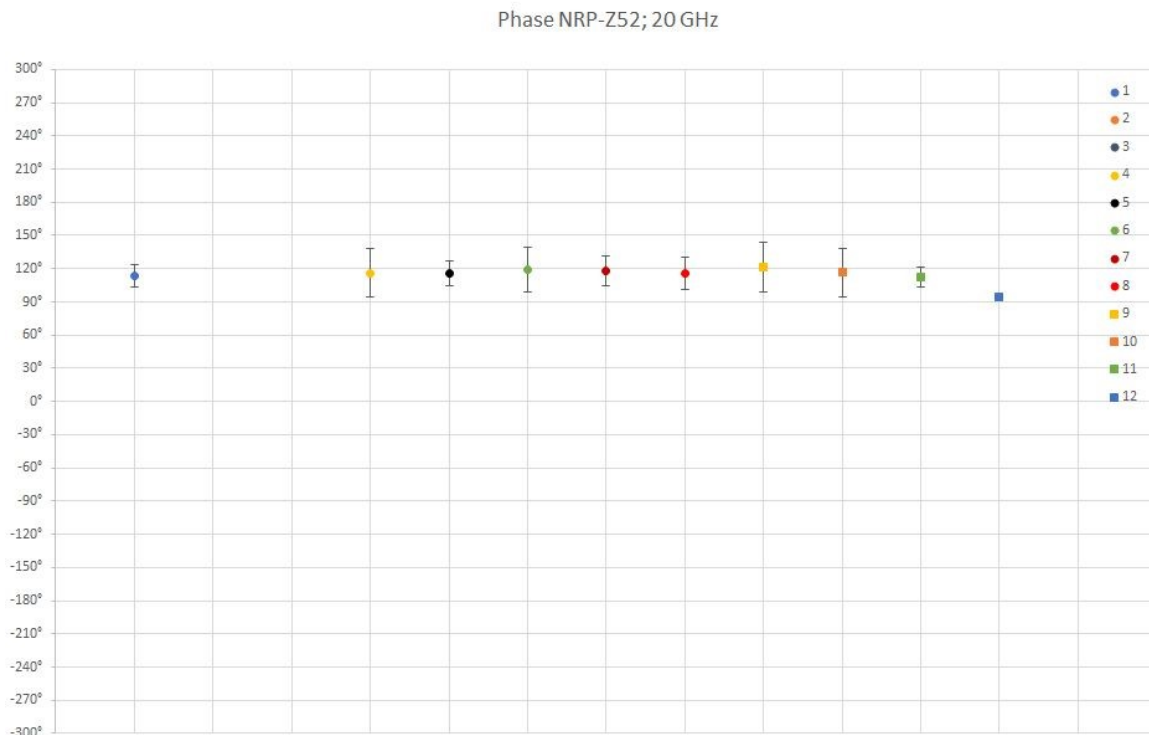


Abbildung 37: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

7.1.6 Einzelergebnisse bei 24 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0155	0,0432	0,00362	0,014	35,14	10
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	0,006	0,012	100	180
5	1,0175	0,012	0,0024	0,007	111,469	140
6	1,021	0,011	0,008	0,013	9	40
7	1,0145	0,0125	0,0023	0,007	66,1	180
8	1,0224	0,013	0,0036	0,007	0,9	180
9	1,0204	0,0145	0,007	0,011	62,3	180
10	1,014	0,032	0,002	0,011	-18,1	180
11	1,0159	0,02	0,0025	0,0041	32,3	90,6
12	0,951996	-	0,098896	-	162,98	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z52; 24 GHz

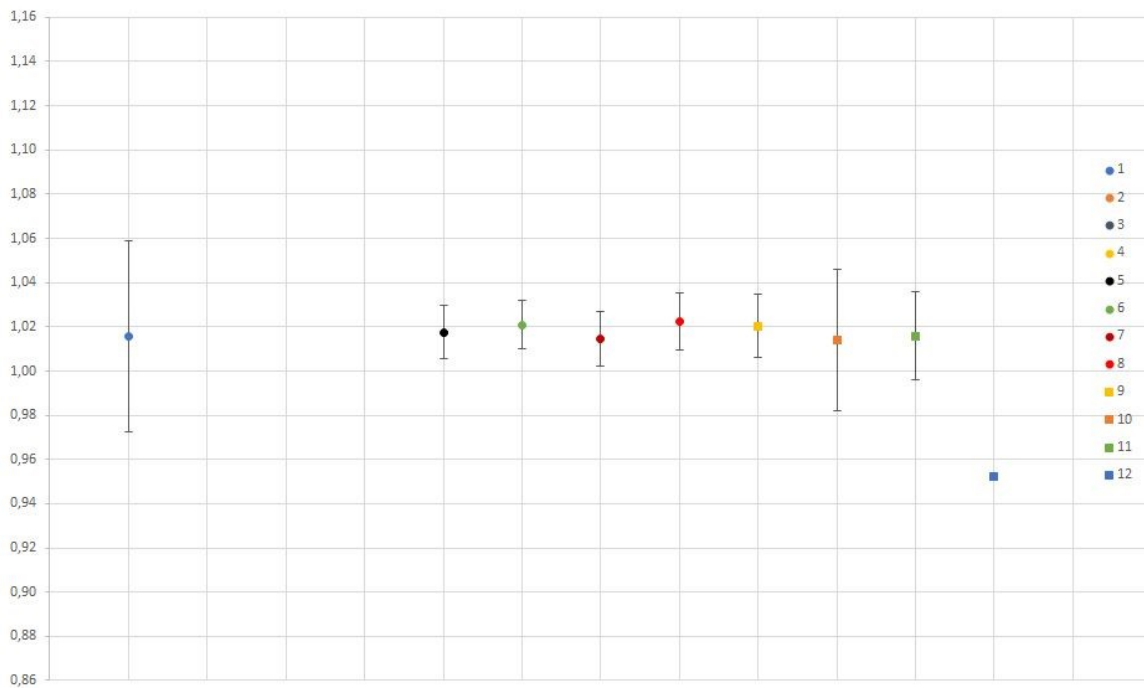


Abbildung 38: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

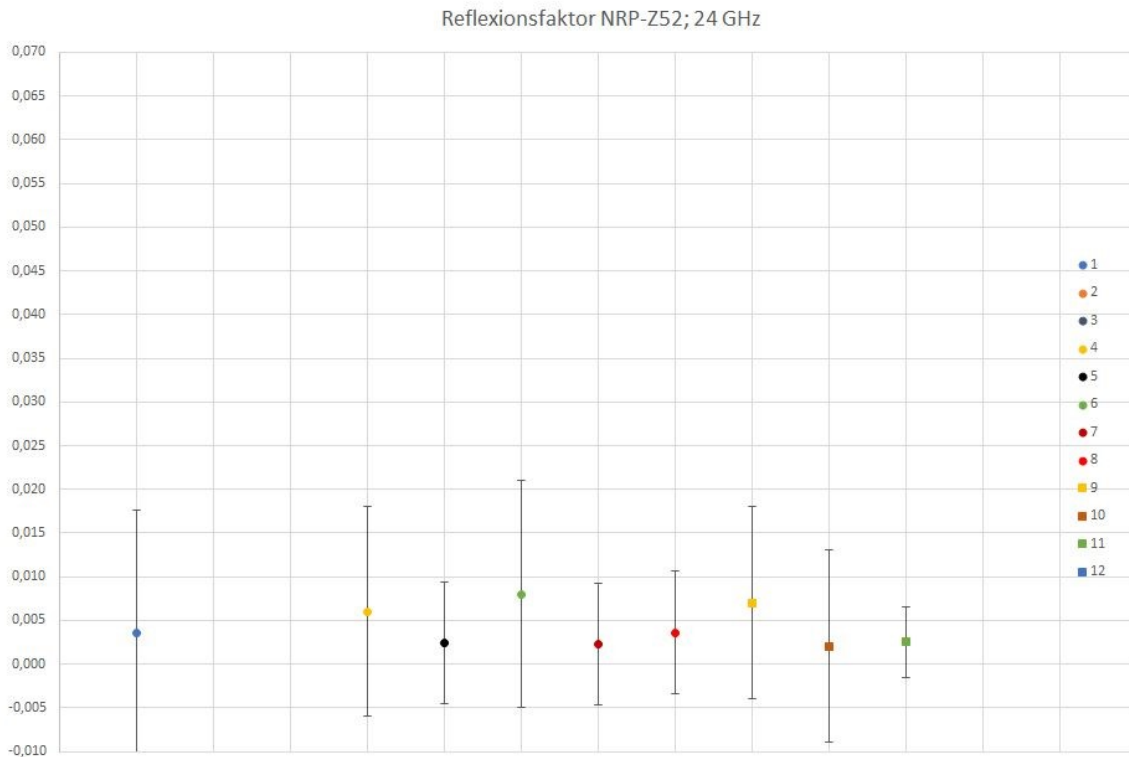


Abbildung 39: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

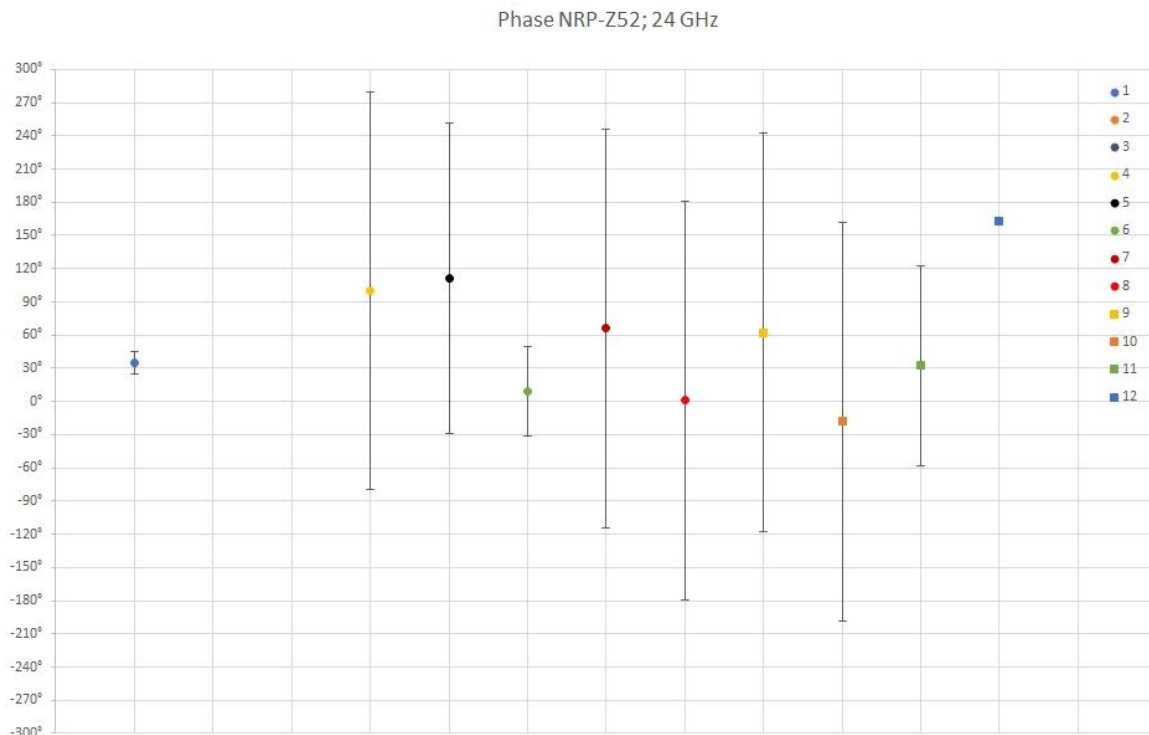


Abbildung 40: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

7.1.7 Einzelergebnisse bei 26,5 GHz

Teilnehmer	K	$U(K)$	$ \Gamma $	$U(\Gamma)$	$\varphi / ^\circ$	$U(\varphi) / ^\circ$
1	1,0178	0,0477	0,01987	0,014	9,33	10
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	0,021	0,012	20°	34
5	1,0209	0,015	0,0161	0,008	15,27	22
6	1,026	0,014	0,023	0,013	58	20
7	1,0156	0,012	0,0182	0,007	8,5	22,7
8	1,0246	0,013	0,0204	0,007	1,1	20
9	1,0225	0,0145	0,021	0,012	1,3	33,9
10	1,019	0,033	0,019	0,011	0,9	34
11	1,0125	0,023	0,0196	0,0041	8,4	12,8
12	0,970831	-	0,072528	-	54,76	-

Kalibrierungsfaktor NRP-Z52; 26,5 GHz

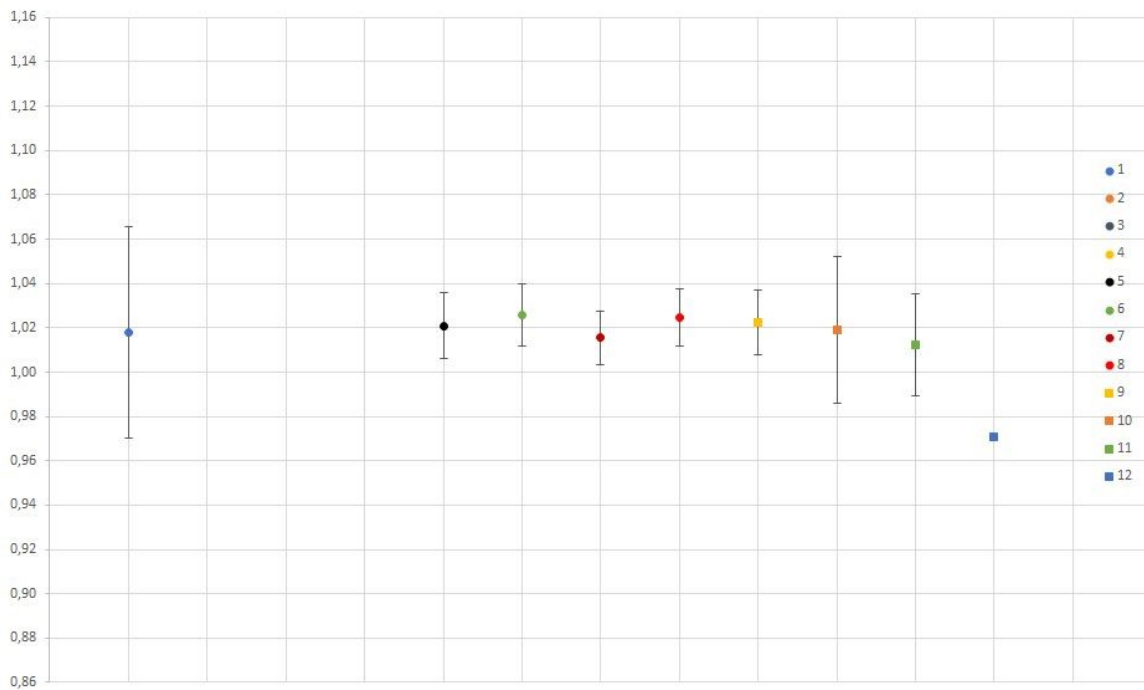


Abbildung 41: Einzelergebnisse des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

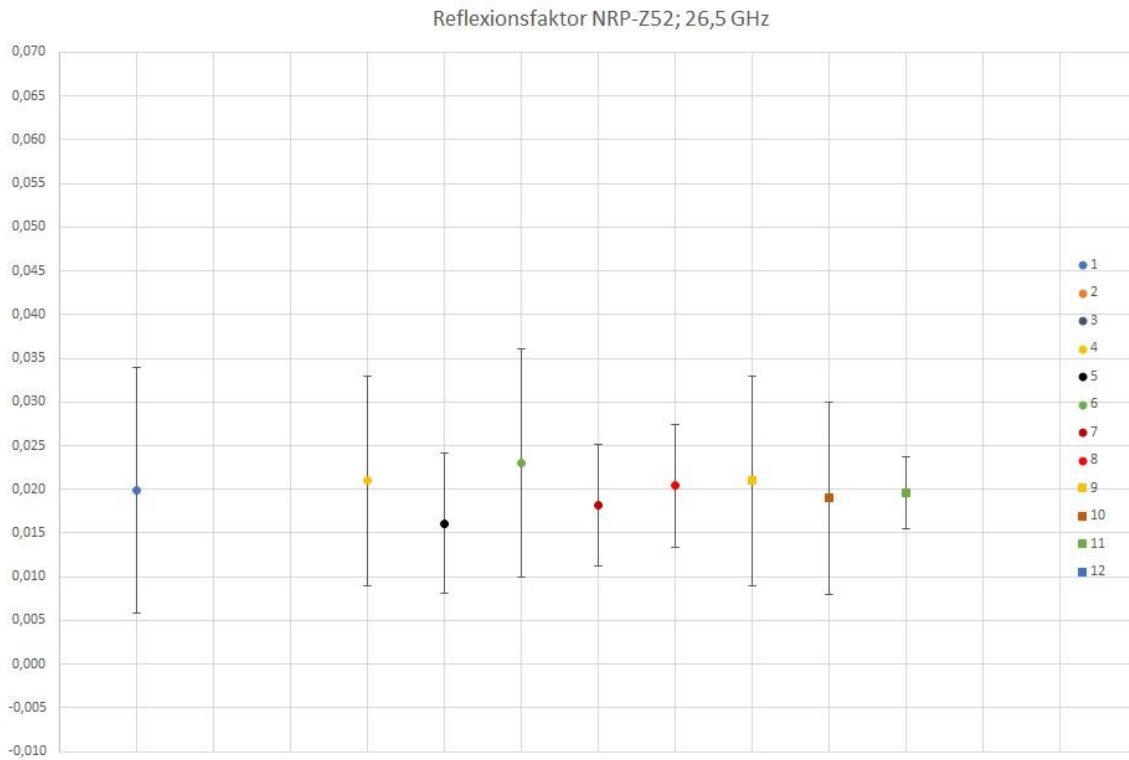


Abbildung 42: Einzelergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

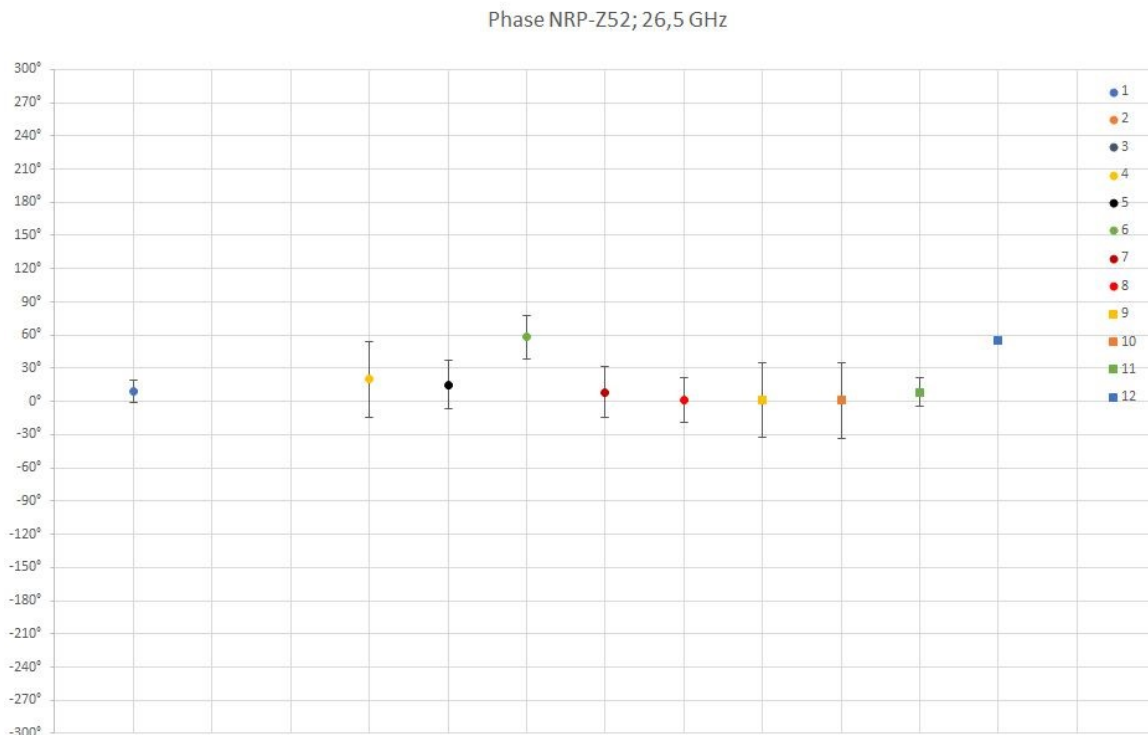


Abbildung 43: Einzelergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

7.1.8 Pin-Tiefe des Messkopfes

Teilnehmer	Pin-Tiefe in μm	$U(\text{Pin-Tiefe})$ in μm
1	-11,7	8
2	-	-
3	-	-
4	-10,3	8,5
5	-3,2	7
6	-14	10
7	-10	6
8	-7	6
9	-12,7	10
10	-10	10
11	-9,1	4,1
12	-5	50

Pin-Tiefe NRP-Z52

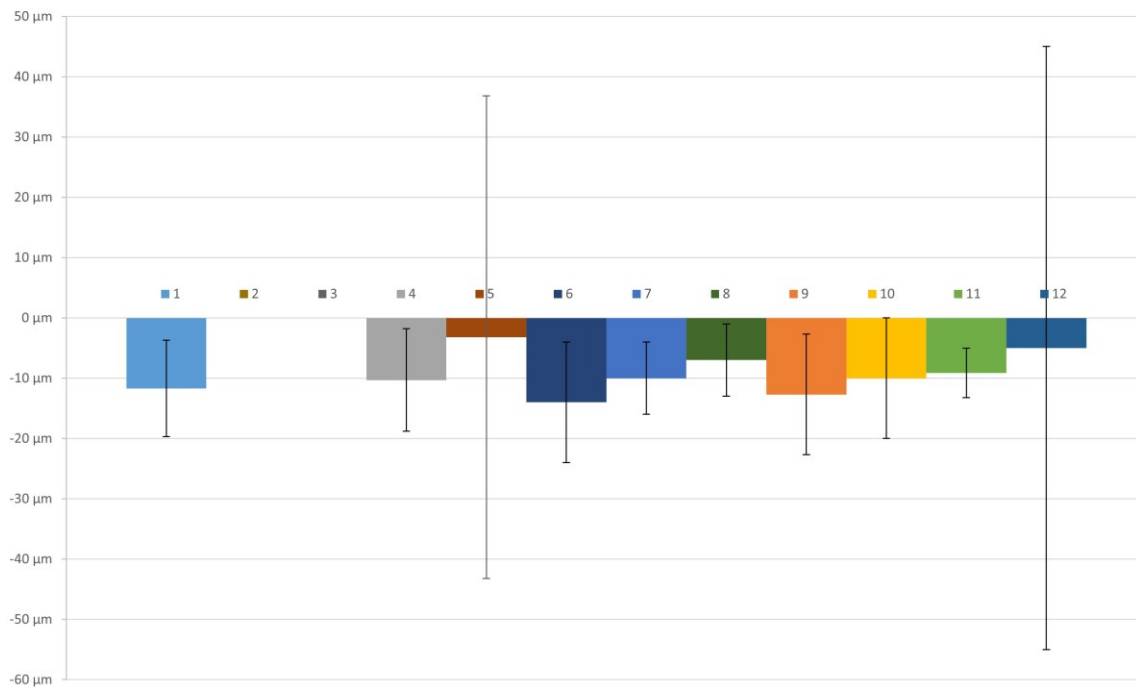


Abbildung 44: Einzelergebnisse der Pin-Tiefe des NRP-Z52

8 Auswertung der Messergebnisse

Üblicherweise erfolgt die Auswertung der Messergebnisse von Ringvergleichen mit Hilfe des E_N -Faktors. Die Berechnungen nach dem E_N -Faktor ([3] und [4]) kann aber nur dann durchgeführt werden, wenn ein Teilnehmer als Referenzlabor gilt **und** wesentlich geringere Messunsicherheiten als die anderen Teilnehmer aufweist. Letzteres war bei diesem Vergleich nicht gegeben, weswegen auf den CRV (oder KCRV) (**Key Comparison Reference Value**) ([5] bis [8]) ausgewichen wurde.

Der CRV entspricht dem gewichteten Mittelwert aller Ergebnisse, wobei nur Messergebnissen berücksichtigt werden, deren Unsicherheit den CRV einschließen, also keine Ausreißer (*outlier*). Die Berechnung erfolgt dazu in zwei Schritten (1. und 2. Auswertung).

In der 1. Auswertung wird der Mittelwert aus allen Messwerten berechnet. Danach wird überprüft, ob der Mittelwert innerhalb des Intervalls des Messwertes mit den zugehörigen Messunsicherheiten liegt. Ist dieses der Fall (Konsistenz), werden die Messwerte mit Unsicherheiten in der 2. Auswertung berücksichtigt. Andernfalls werden sie zur Mittelwertberechnung der 2. Auswertung nicht berücksichtigt.

8.1 Der Vergleichs Referenzwert (comparison reference value CRV)

Der CRV (x_{CRV}) wurden für jeden Messpunkt als gewichteter Mittelwert berechnet. Um das korrekte Ergebnis x_i' zu berechnen, wurde jedem Messwert ein normalisiertes Gewichtungsfaktor w_i zugewiesen, der folgendermaßen berechnet wurde:

$$w_i = C \cdot \frac{f_{pi}}{u(x_i')^2} \quad (1)$$

f_{pi} ist ein binärer Schalter (*flag*), welcher angibt, ob das Ergebnis des Teilnehmers bei der Berechnung von x_{CRV} berücksichtigt wird oder nicht. Er kann die Werte 1 oder 0 annehmen. Bei der 1. Auswertung wird f_{pi} für alle Teilnehmer auf 1 gesetzt.

Der Normalisierungsfaktor C ist gegeben durch

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{f_{pi}}{u(x_i')^2}}, \quad (2)$$

für x_{CRV} gilt

$$x_{\text{CRV}} = \sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i' = \frac{\sum_{i=1}^N f_{pi} \frac{x_i'}{u(x_i')^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{f_{pi}}{u(x_i')^2}}, \quad (3)$$

und die Gewissheit des CRV wird wie folgt berechnet:

$$u(x_{\text{CRV}}) = \sqrt{C} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{f_{pi}}{u(x_i')^2}}} \quad (4)$$

Somit beträgt die erweiterte Messunsicherheit (Überdeckungswahrscheinlichkeit ~ 95 %) des CRV

$$U(x_{\text{CRV}}) = 2 \cdot u(x_{\text{CRV}}) \quad (5)$$

Zur Konsistenzprüfung der Ergebnisse wurde ein Chi-Quadrat- (chi-square-) Test angewendet. Der Test besteht darin, die durch die Gleichung (6) berechneten Werte von $F_N(x_i')$ mit dem Wert des Chi-Quadrat-Testes zu vergleichen, der für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,05 berechnet wurde.

$$F_N(x'_i) = \sum_{i=1}^N f_{pi} \times \frac{(x'_i - x_{CRV})^2}{u(x'_i)^2} \quad (6)$$

Hierbei gilt, dass x_{CRV} und N als konsistent angesehen werden, wenn:

$$F_N(x'_i) \leq \chi^2_{(N-1; 0.05)} \quad (7)$$

mit

- N : Anzahl der Teilnehmer
- $F_N(x'_i)$: die Quadratsummenfunktion bildet die Summe von N Beiträgen
- $\chi^2_{(N-1; 0.05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $v = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05.

Wenn der Chi-Quadrat-Test nicht für alle N Teilnehmer bestanden wurde, wurde der Vergleichsreferenzwert (x_{CRV}) als gewichteter Mittelwert mit der Formel (8) der Teilnehmer berechnet, die den Chi-Quadrat-Test bestanden haben. Bei den Teilnehmern, die den Chi-Quadrat-Test nicht bestanden haben, wurde f_{pi} (aus Gleichung 1) auf 0 gesetzt. Dieses Verfahren wurde so lange wiederholt, bis Konsistenz erreicht war.

$$F_r(x'_i) = \sum_{i=1}^r f_{pi} \times \frac{(x'_i - x_{CRV})^2}{u(x'_i)^2} \quad (8)$$

x_{CRV} und r als Messergebnis für x'_i können als konsistent angesehen werden, wenn:

$$F_r(x'_i) \leq \chi^2_{(r-1; 0.05)} \quad (9)$$

mit

- r : Anzahl der Teilnehmer deren Ergebnisse berücksichtigt werden
- $F_r(x'_i)$: Der Chi-Quadrat-Wert, die Summe der Quadratfunktion bildet die Summe von r Beiträgen, x_{obs}^2
- $\chi^2_{(r-1; 0.05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $v = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05.

8.2 Grad der Äquivalenz und der normalisierte Fehler

Die Ergebnisse des Vergleiches werden als Grad der Äquivalenz (D_i) und normalisierter Fehler (E_N) zwischen dem Ergebnis eines Teilnehmers und den CRV angegeben.

Der Grad der Äquivalenz (D_i) wird wie folgt berechnet:

$$D_i = x'_i - x_{CRV} \quad (10)$$

wobei x'_i das Ergebnis des jeweiligen Teilnehmers und x_{CRV} der vorher berechnete Vergleichswert ist.

Die erweiterte Unsicherheit des Grades der Äquivalenz für das Ergebnis eines Teilnehmers ($U(D_i)$), wurde wie folgt berechnet:

$$U(D_i) = \sqrt{U(x'_i)^2 + U(x_{CRV})^2} \quad \text{trägt nicht zum CRV bei (11)}$$

$$U(D_i) = \sqrt{U(x'_i)^2 - U(x_{CRV})^2} \quad \text{trägt zum CRV bei (12)}$$

wobei $U(x'_i)$ die erweiterte Unsicherheit der Ergebnisse jedes Teilnehmers und $U(x_{CRV})$ die erweiterte CRV-Unsicherheit sind. Die Gleichung (11) wurde verwendet, wenn das Ergebnis des Teilnehmers nicht zum CRV beiträgt und die Gleichung (12) wenn der Teilnehmer zum CRV beiträgt.

Für die Ergebnisse jedes Teilnehmers wurden die normalisierten Fehler (E_N) wie folgt berechnet:

$$E_N = \frac{x'_i - x_{CRV}}{\sqrt{U(x'_i)^2 + U(x_{CRV})^2}} = \frac{D_i}{U(D_i)} \quad \text{trägt nicht zum CRV bei (13)}$$

$$E_N = \frac{x'_i - x_{CRV}}{\sqrt{U(x'_i)^2 - U(x_{CRV})^2}} = \frac{D_i}{U(D_i)} \quad \text{trägt zum CRV bei (14)}$$

Die Teilnehmerergebnisse wurden als zufriedenstellen angesehen, wenn der $|E_N| \leq 1$ ist.

8.3 Der Kalibrierungsfaktor des NRP-Z21

8.3.1 Auswertung der Messergebnisse des Kalibrierungsfaktors

Messpunkt	1. Auswertung				2. Auswertung				x_{CRV}	$u(x_{CRV})$	$U(x_{CRV})$
	N	F_N	$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$	Konsistenz	r	F_r	$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$	Konsistenz			
50 MHz	11	2,6	18	WAHR	11	2,6	18	WAHR	1,0024	0,0012	0,0023
500 MHz	11	1,5	18	WAHR	11	1,5	18	WAHR	1,0076	0,0016	0,0031
1 GHz	11	1,5	18	WAHR	11	1,5	18	WAHR	1,0107	0,0016	0,0032
5 GHz	11	3,3	18	WAHR	11	3,3	18	WAHR	1,0270	0,0019	0,0038
10 GHz	11	3,6	18	WAHR	11	3,6	18	WAHR	1,0356	0,0021	0,0042
15 GHz	11	2,3	18	WAHR	11	2,3	18	WAHR	1,0477	0,0025	0,0049
18 GHz	10	2,6	17	WAHR	10	2,6	17	WAHR	1,0468	0,0026	0,0053

Tabelle 1: Auswertung des Kalibrierungsfaktors und Prüfung der Konsistenzen

Es bedeutet:

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**

N : Anzahl der Ergebnisse der 1. Auswertung

F_N : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**

r : Anzahl der berücksichtigten Ergebnisse der 2. Auswertung

F_r : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

Messpunkt	1. Auswertung					2. Auswertung				
	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad
50 MHz	1,0024	0,0012	0,0023	11	10	1,0024	0,0012	0,0023	11	10
500 MHz	1,0076	0,0016	0,0031	11	10	1,0076	0,0016	0,0031	11	10
1 GHz	1,0107	0,0016	0,0032	11	10	1,0107	0,0016	0,0032	11	10
5 GHz	1,0270	0,0019	0,0038	11	10	1,0270	0,0019	0,0038	11	10
10 GHz	1,0356	0,0021	0,0042	11	10	1,0356	0,0021	0,0042	11	10
15 GHz	1,0477	0,0025	0,0049	11	10	1,0477	0,0025	0,0049	11	10
18 GHz	1,0468	0,0026	0,0053	10	9	1,0468	0,0026	0,0053	10	9

Tabelle 2: Auswertung des Kalibrierungsfaktors mit Bestimmung des gewichteten Mittelwertes

Es bedeuten

- Messpunkt : Frequenz des Messpunktes
 1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**
 x_{ref} : Mittelwert aller Frequenzpunkte
 $u(x_{ref})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}
 $U(x_{ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)
 LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
 Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)
 2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**
 x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert
 $u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}
 $U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)
 LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
 Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

Aus den obigen Berechnungen und den entsprechenden Auswertungen ergeben sich für die Teilnehmer folgende Grade der Äquivalenz (Formel 10) mit deren erweiterten Unsicherheiten (Formeln 11 und 12).

Teilnehmer	1		2		3		4		5		6	
	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	-0,0015	0,0078	-0,0267	0,0937	-0,0010	0,0410	0,0008	0,0055	-0,0002	0,0107	0,0056	0,0097
500 MHz	-0,0025	0,0108	-0,0171	0,0741	-0,0020	0,0421	0,0001	0,0068	-0,0010	0,0116	0,0044	0,0095
1 GHz	-0,0030	0,0107	-0,0252	0,1182	-0,0017	0,0554	0,0004	0,0068	-0,0014	0,0116	0,0043	0,0126
5 GHz	-0,0006	0,0149	-0,0521	0,0942	0,0040	0,0669	-0,0003	0,0078	-0,0010	0,0124	0,0060	0,0092
10 GHz	-0,0040	0,0184	-0,0439	0,0652	0,0114	0,0837	0,0004	0,0112	-0,0017	0,0144	0,0054	0,0123
15 GHz	0,0025	0,0241	-0,0440	0,0848	0,0013	0,0995	0,0013	0,0142	-0,0021	0,0152	0,0053	0,0142
18 GHz	-0,0007	0,0256	-0,0413	0,0697	-	-	0,0002	0,0151	-0,0010	0,0151	0,0082	0,0162

Teilnehmer	7		8		9		10		11		12	
	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	0,0021	0,0198	0,0029	0,0198	-0,0004	0,0022	0,0056	0,0199	-0,0022	0,0077	-0,0130	0,0023
500 MHz	0,0010	0,0198	0,0021	0,0199	-0,0007	0,0038	0,0054	0,0258	0,0002	0,0095	-0,0214	0,0031
1 GHz	0,0014	0,0199	0,0023	0,0199	-0,0005	0,0038	0,0073	0,0228	-0,0002	0,0095	-0,0242	0,0032
5 GHz	0,0021	0,0207	0,0030	0,0207	-0,0024	0,0062	0,0010	0,0207	-0,0011	0,0092	-0,0475	0,0038
10 GHz	0,0010	0,0117	0,0014	0,0117	-0,0021	0,0079	0,0084	0,0257	-0,0010	0,0101	-0,0594	0,0042
15 GHz	0,0010	0,0128	0,0026	0,0128	-0,0025	0,0103	0,0013	0,0316	-0,0028	0,0109	-0,0785	0,0049
18 GHz	-0,0002	0,0138	0,0019	0,0138	-0,0023	0,0105	-0,0008	0,0316	-0,0009	0,0119	-0,0833	0,0053

Tabelle 3: Auswertung des Grades der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors

Es bedeuten

- D : Grad der Äquivalenz
 U_D : Erweiterte Messunsicherheit des Grades der Äquivalenz ($k = 2$)

Hieraus ergeben sich die folgenden normalisierten Fehler E_N (Formeln 13 und 14)

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frequenz	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N
50 MHz	-0,20	-0,29	-0,02	0,14	-0,02	0,57	0,11	0,15	-0,19	0,28	-0,29	-5,56
500 MHz	-0,24	-0,23	-0,05	0,01	-0,09	0,46	0,05	0,10	-0,19	0,21	0,02	-6,82
1 GHz	-0,28	-0,21	-0,03	0,06	-0,12	0,34	0,07	0,11	-0,12	0,32	-0,02	-7,50
5 GHz	-0,04	-0,55	0,06	-0,04	-0,08	0,65	0,10	0,14	-0,39	0,05	-0,12	-12,49
10 GHz	-0,22	-0,67	0,14	0,03	-0,12	0,44	0,08	0,12	-0,27	0,33	-0,10	-14,00
15 GHz	0,10	-0,52	0,01	0,09	-0,14	0,37	0,08	0,20	-0,25	0,04	-0,26	-15,89
18 GHz	-0,03	-0,59	0,00	0,01	-0,07	0,51	-0,02	0,14	-0,22	-0,03	-0,08	-15,86

Tabelle 4: Auswertung des normalisierten Fehlers des Kalibrierungsfaktors

8.3.2 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

NRP-Z21, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 50 MHz

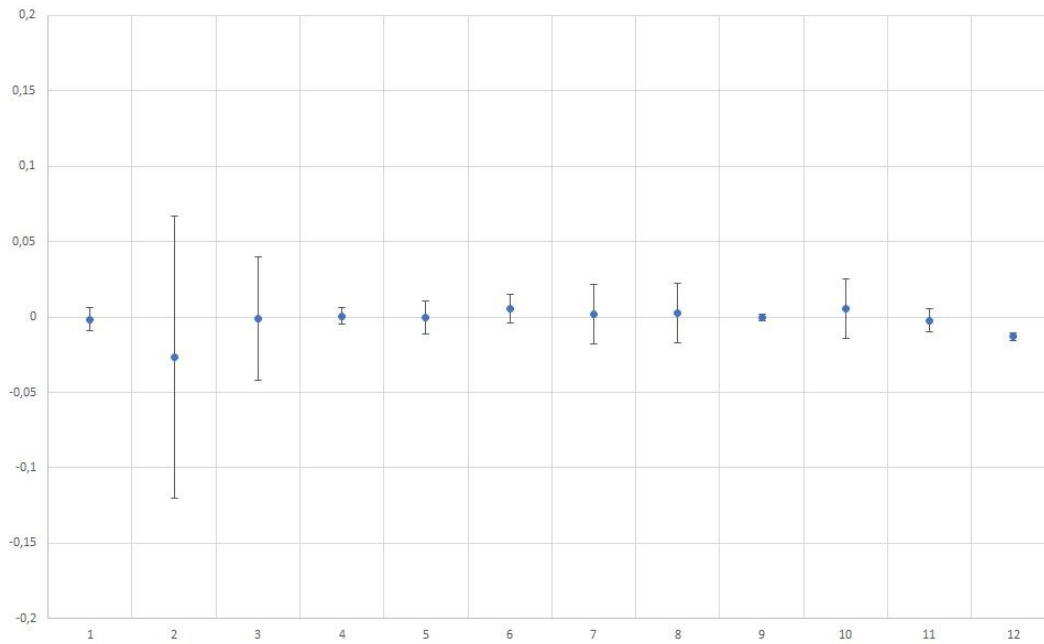


Abbildung 45: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 50 MHz

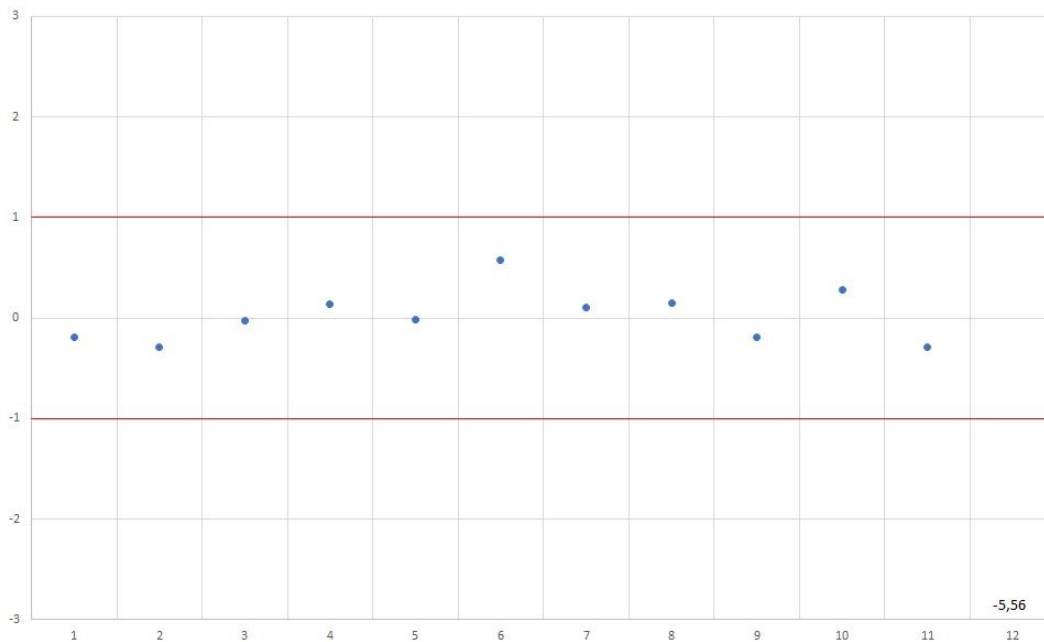


Abbildung 46: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

8.3.3 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

NRP-Z21, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 50 MHz

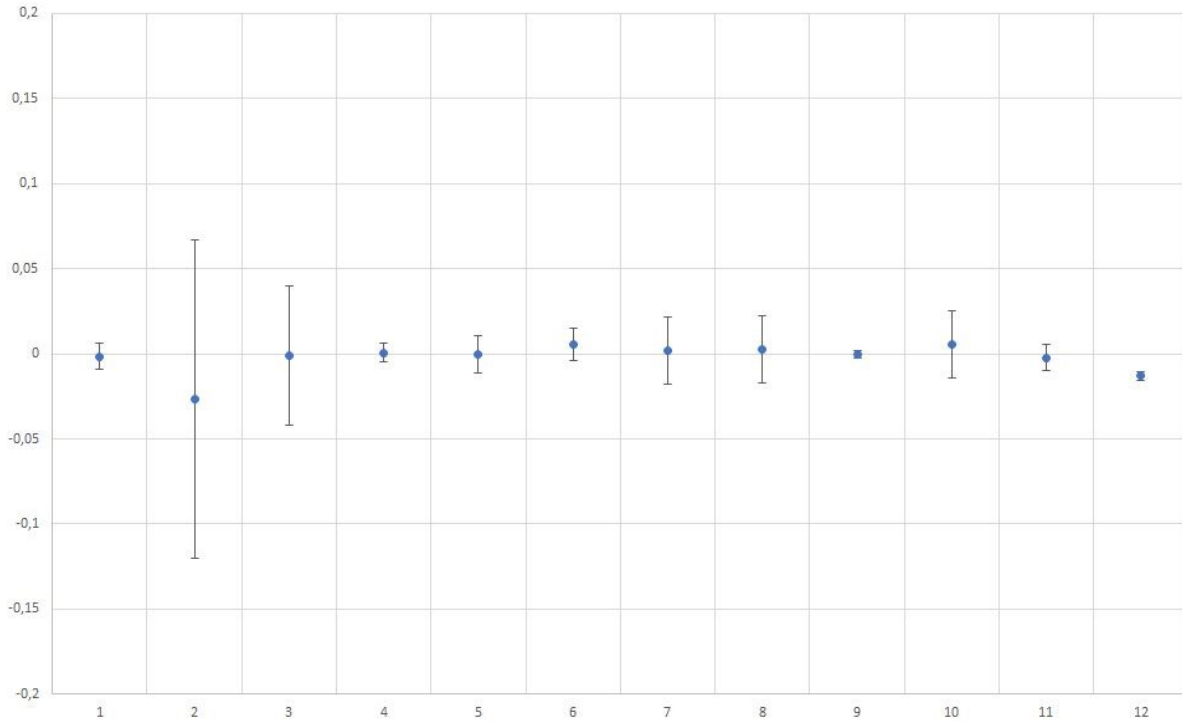


Abbildung 47: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 500 MHz

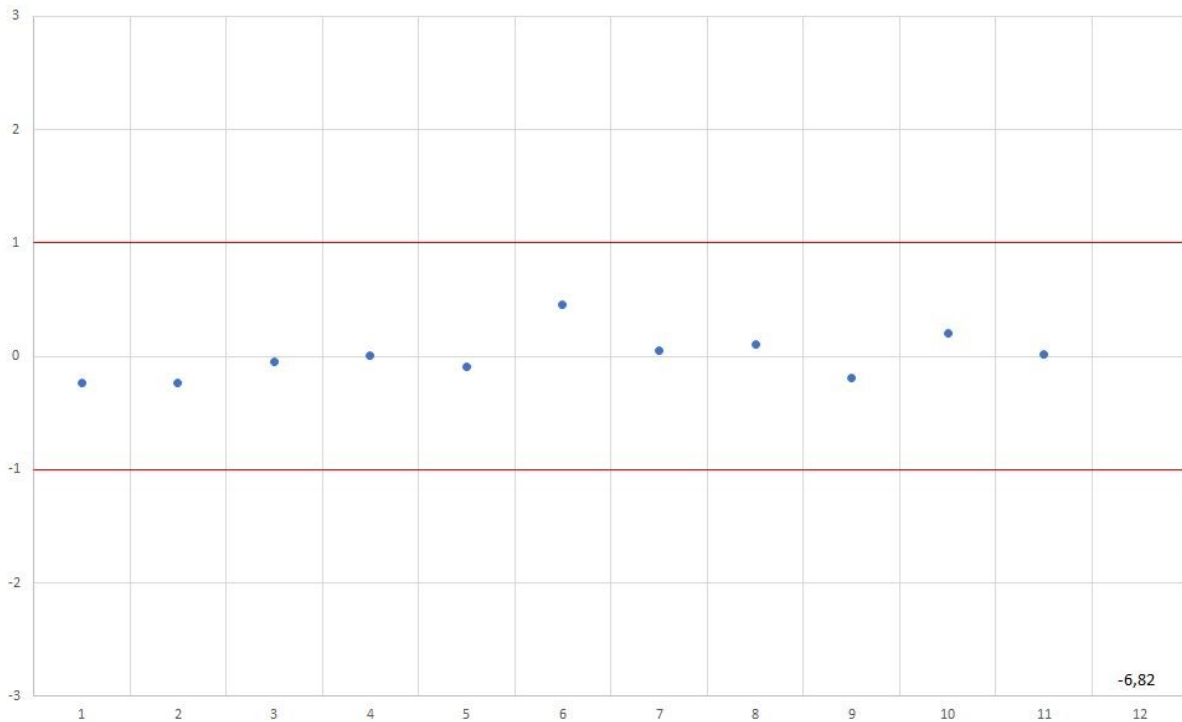


Abbildung 48: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

8.3.4 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

NRP-Z21, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 1 GHz

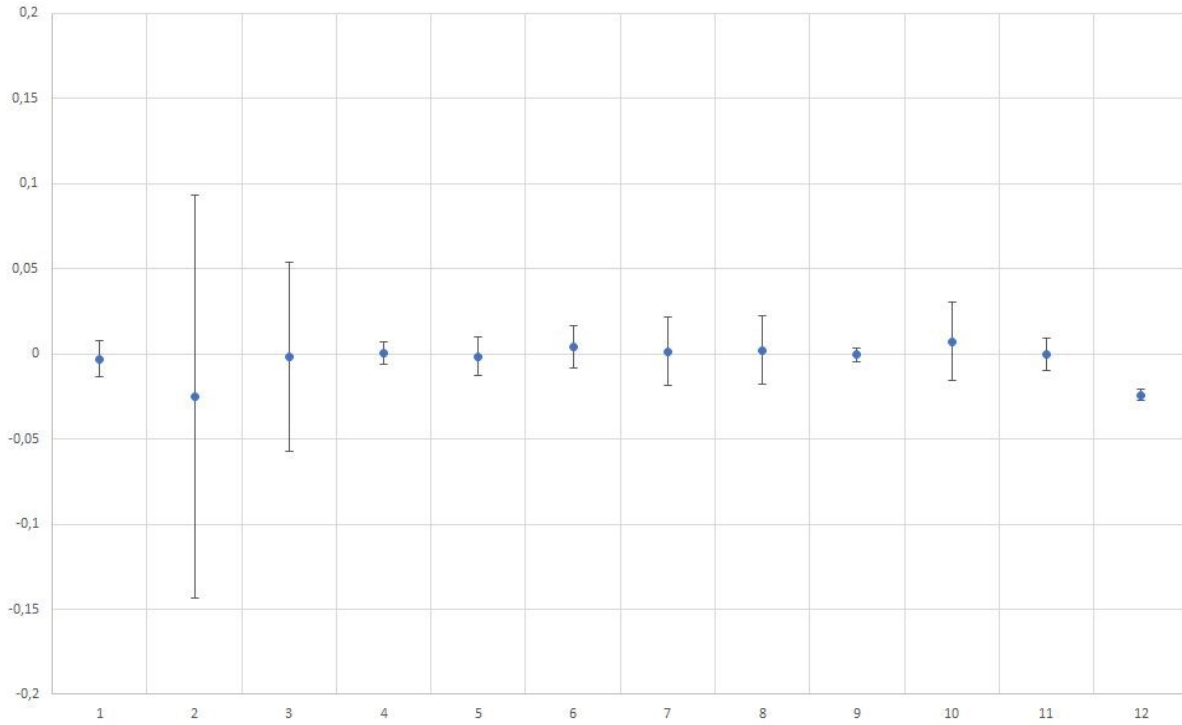


Abbildung 49: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 1 GHz

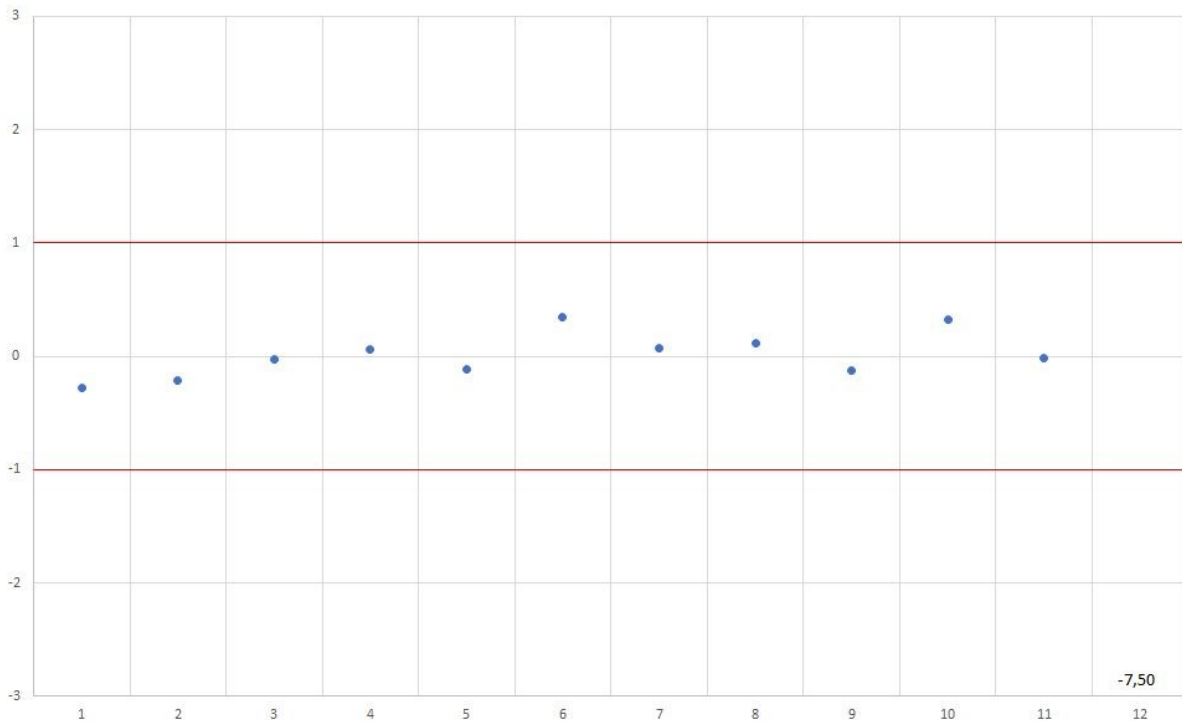


Abbildung 50: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

8.3.5 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

NRP-Z21, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 5 GHz

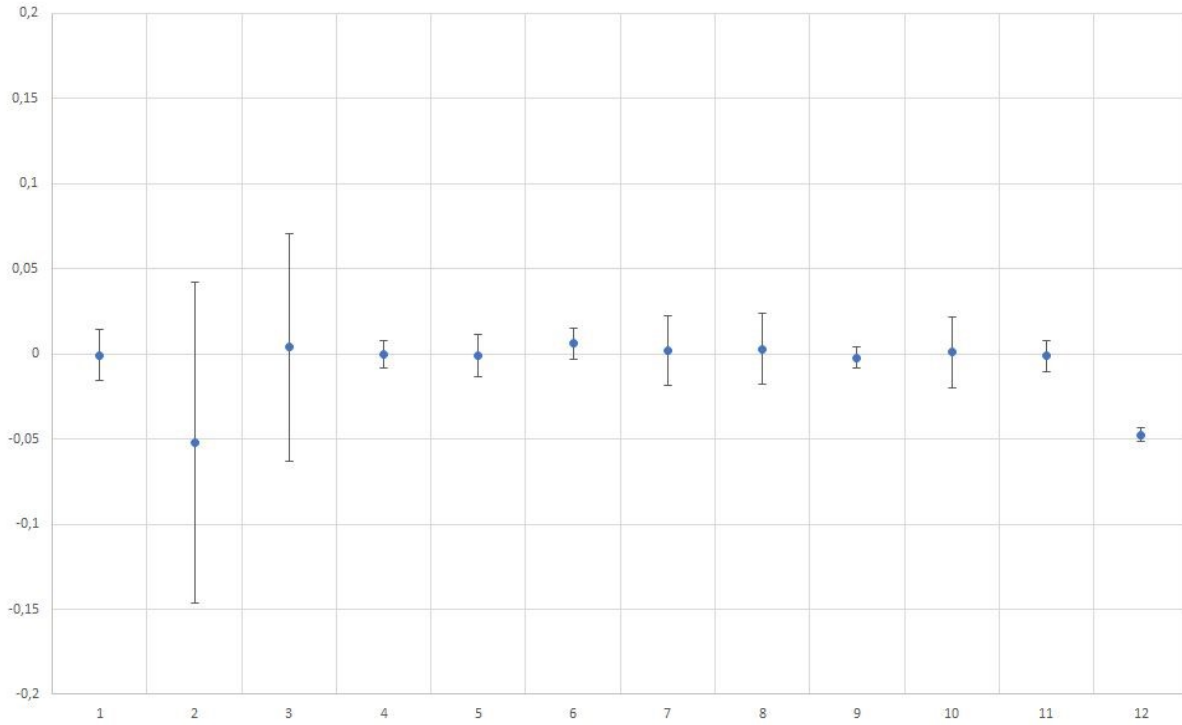


Abbildung 51: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 5 GHz

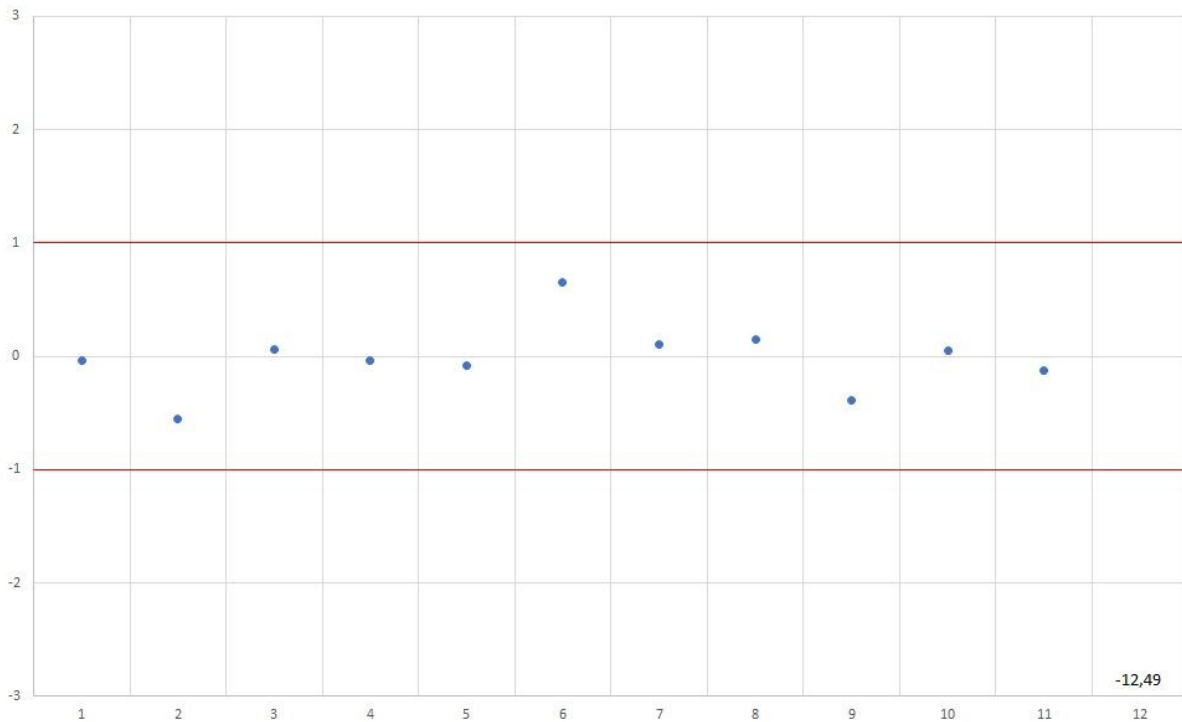


Abbildung 52: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

8.3.6 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

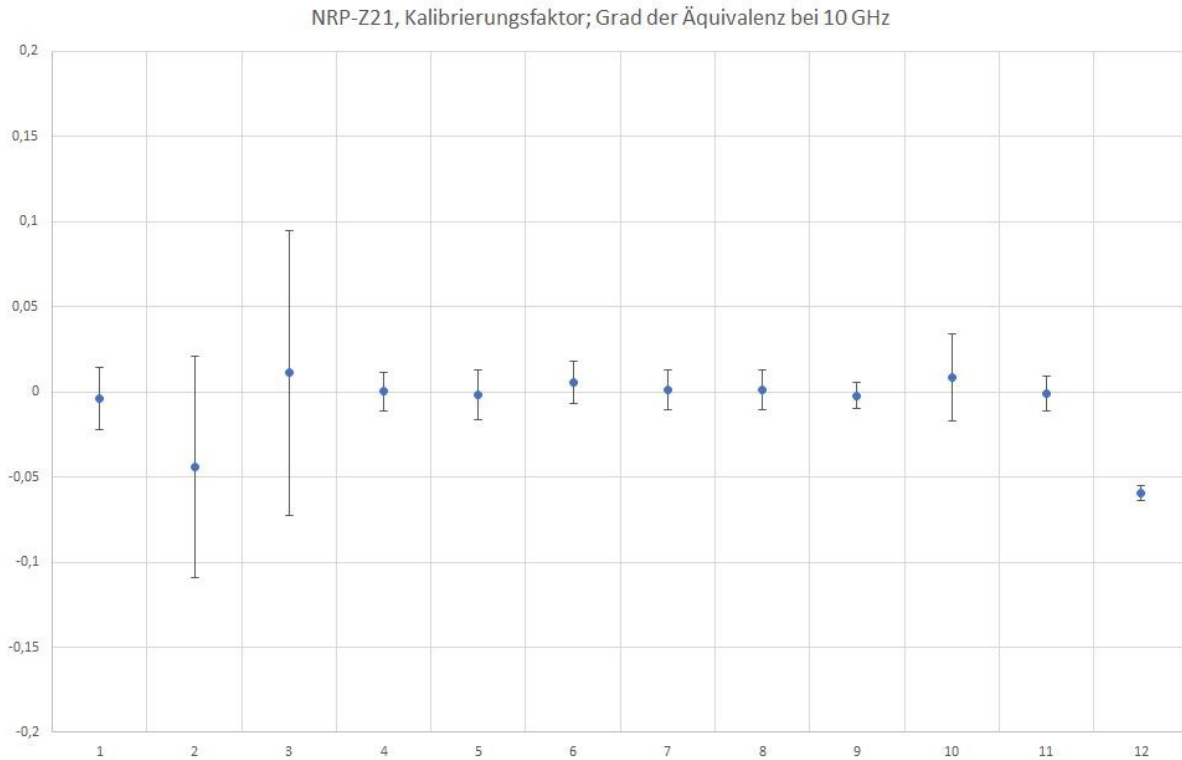


Abbildung 53: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

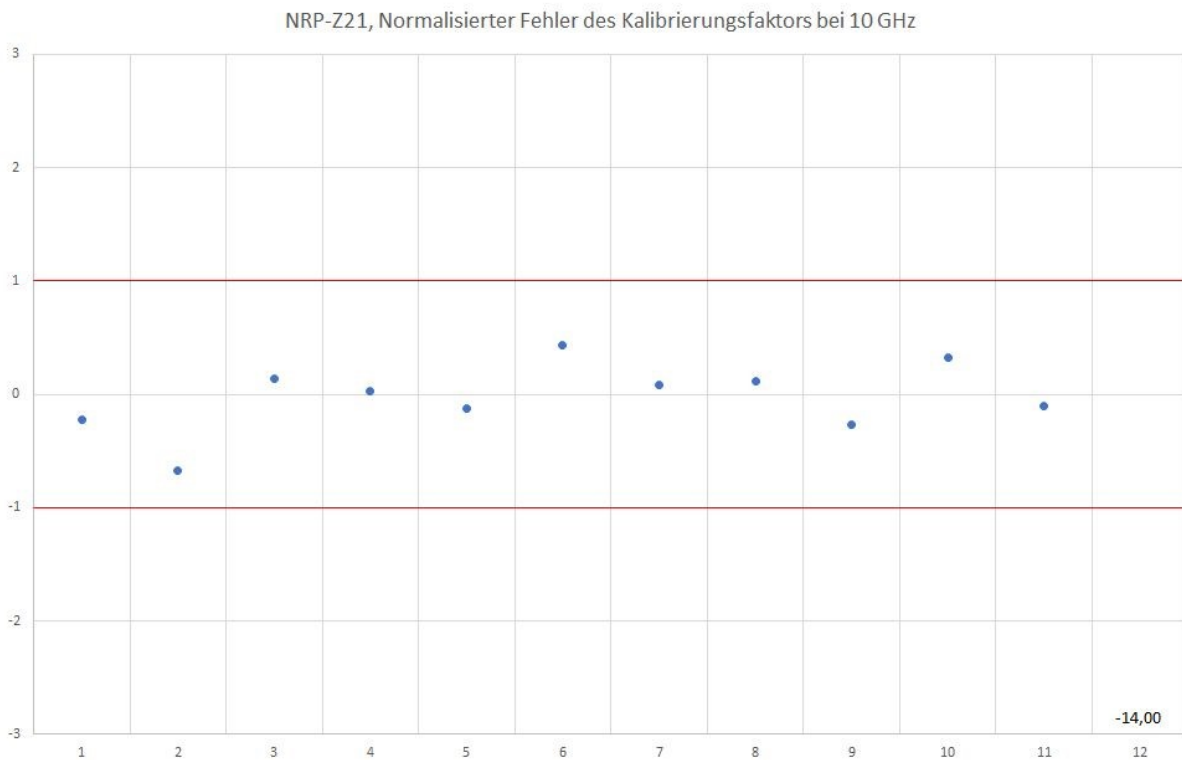


Abbildung 54: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

8.3.7 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

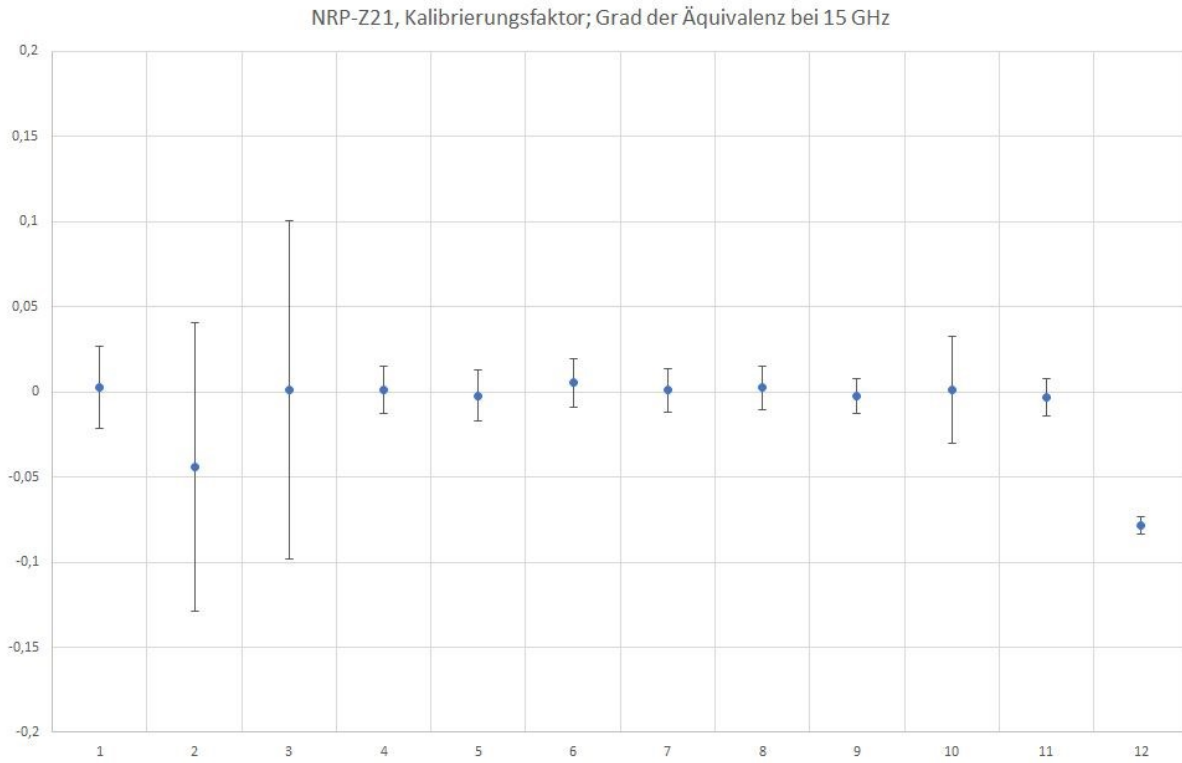


Abbildung 55: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

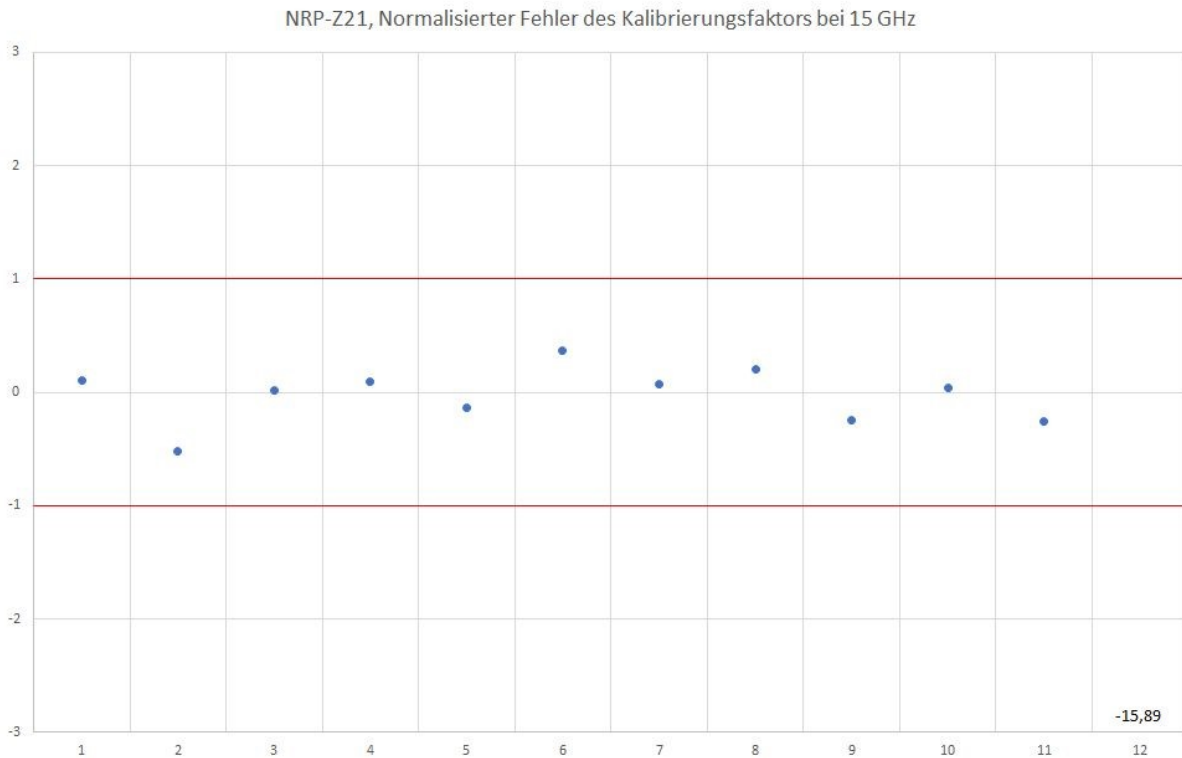


Abbildung 56: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

8.3.8 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

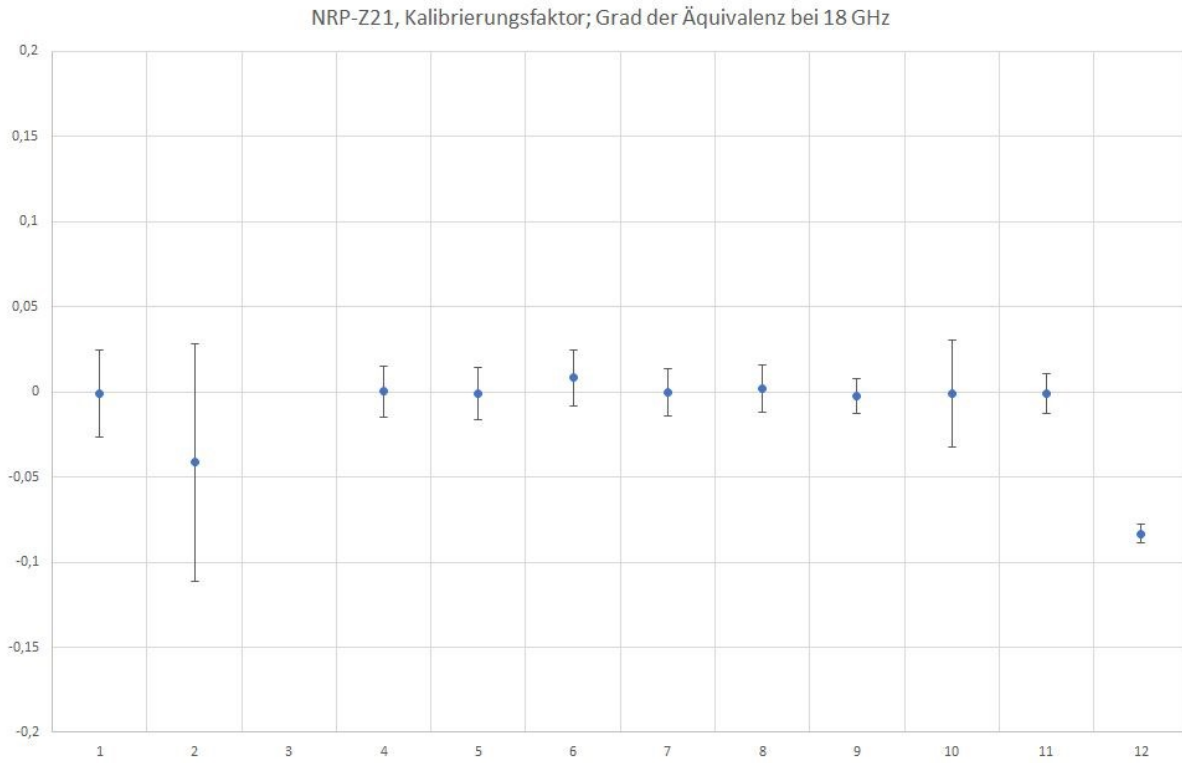


Abbildung 57: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

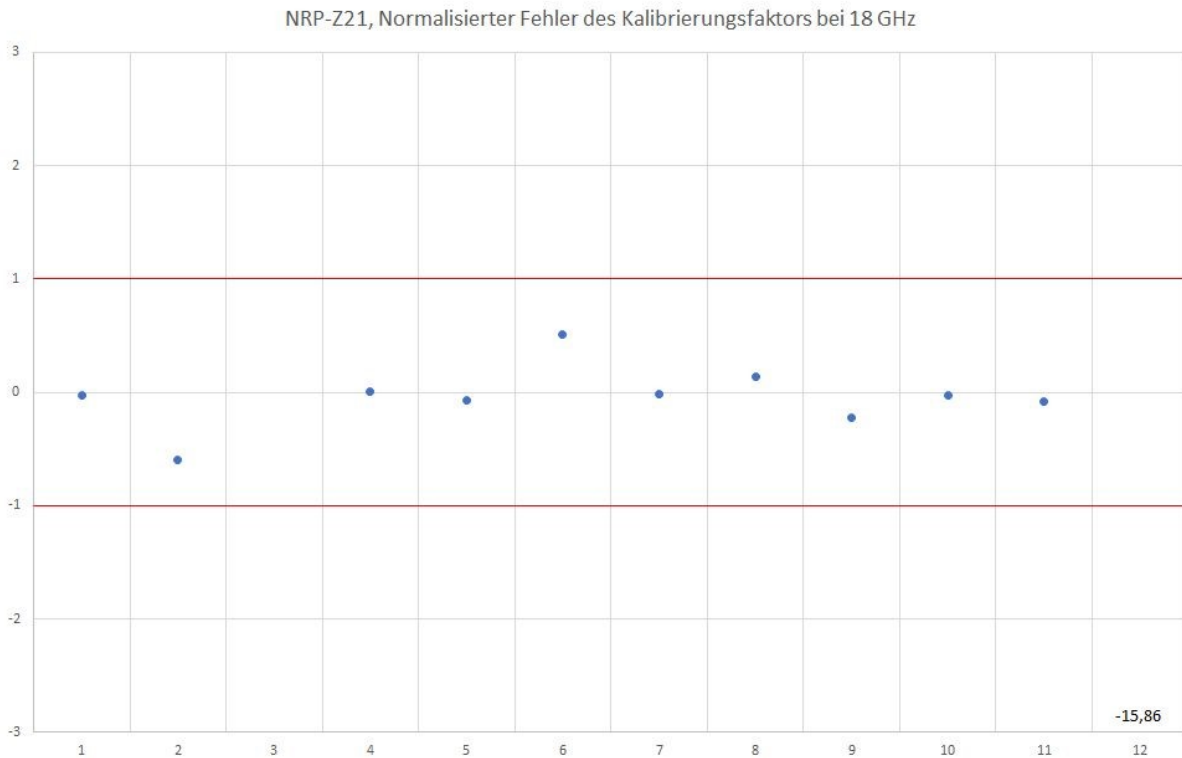


Abbildung 58: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

8.4 Der Betrag des Reflexionsfaktors des NRP-Z21

8.4.1 Auswertung der Messergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors

Messpunkt	1. Auswertung				2. Auswertung				x_{CRV}	$u(x_{CRV})$	$U(x_{CRV})$
	N	F_N	$\chi^2_{(N-1; 0.05)}$	Konsistenz	r	F_r	$\chi^2_{(r-1; 0.05)}$	Konsistenz			
50 MHz	11	0,9	18	WAHR	11	0,9	18	WAHR	0,00517	0,00060	0,00120
500 MHz	11	0,6	18	WAHR	11	0,6	18	WAHR	0,00676	0,00066	0,00131
1 GHz	11	1,3	18	WAHR	11	1,3	18	WAHR	0,00697	0,00068	0,00135
5 GHz	11	1,2	18	WAHR	11	1,2	18	WAHR	0,02385	0,00076	0,00153
10 GHz	11	0,7	18	WAHR	11	0,7	18	WAHR	0,05413	0,00099	0,00198
15 GHz	11	1,8	18	WAHR	11	1,8	18	WAHR	0,03706	0,00111	0,00221
18 GHz	10	1,0	17	WAHR	10	1,0	17	WAHR	0,05142	0,00114	0,00227

Tabelle 5: Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors und Prüfung der Konsistenzen

Es bedeutet:

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**

N : Anzahl der Ergebnisse der 1. Auswertung

F_N : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(N-1; 0.05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**

r : Anzahl der berücksichtigten Ergebnisse der 2. Auswertung

F_r : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(r-1; 0.05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

Messpunkt	1. Auswertung					2. Auswertung				
	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad
50 MHz	0,00517	0,00060	0,00120	11	10	0,00517	0,00060	0,00120	11	10
500 MHz	0,00676	0,00066	0,00131	11	10	0,00676	0,00066	0,00131	11	10
1 GHz	0,00697	0,00068	0,00135	11	10	0,00697	0,00068	0,00135	11	10
5 GHz	0,02385	0,00076	0,00153	11	10	0,02385	0,00076	0,00153	11	10
10 GHz	0,05413	0,00099	0,00198	11	10	0,05413	0,00099	0,00198	11	10
15 GHz	0,03706	0,00111	0,00221	11	10	0,03706	0,00111	0,00221	11	10
18 GHz	0,05142	0,00114	0,00227	10	9	0,05142	0,00114	0,00227	10	9

Tabelle 6: Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors mit Bestimmung des gewichteten Mittelwertes

Es bedeuten

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur 1. Auswertung

x_{ref} : Mittelwert aller Frequenzpunkte

$u(x_{ref})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte

Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der 2. Auswertung
 x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert
 $u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}
 $U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)
LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

Aus den obigen Berechnungen und den entsprechenden Auswertungen ergeben sich für die Teilnehmer folgende Grade der Äquivalenz (Formel 10) mit deren erweiterten Unsicherheiten (Formeln 11 und 12).

Teilnehmer	1		2		3		4		5		6	
	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	-0,0005	0,0119	0,0010	0,0056	-0,0009	0,0064	-0,0002	0,0119	0,0002	0,0017	-0,0012	0,0079
500 MHz	-0,0009	0,0119	0,0007	0,0055	-0,0006	0,0064	0,0002	0,0119	0,0000	0,0018	-0,0008	0,0079
1 GHz	-0,0004	0,0119	0,0006	0,0055	-0,0015	0,0119	0,0000	0,0119	0,0002	0,0019	-0,0010	0,0079
5 GHz	-0,0001	0,0119	0,0007	0,0075	-0,0047	0,0119	0,0001	0,0119	0,0004	0,0026	-0,0019	0,0079
10 GHz	0,0007	0,0139	0,0030	0,0107	-0,0006	0,0118	-0,0001	0,0118	0,0006	0,0076	-0,0021	0,0108
15 GHz	0,0005	0,0138	0,0007	0,0139	-0,0052	0,0118	-0,0001	0,0118	-0,0003	0,0079	0,0009	0,0108
18 GHz	0,0014	0,0138	-0,0020	0,0140	-	-	-0,0014	0,0118	0,0004	0,0082	-0,0034	0,0108

Teilnehmer	7		8		9		10		11		12	
	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	-0,0005	0,0028	0,0006	0,0028	-0,0002	0,0049	0,0008	0,0069	-0,0007	0,0029	-0,0004	0,0012
500 MHz	0,0006	0,0038	0,0001	0,0038	-0,0008	0,0048	0,0012	0,0069	-0,0005	0,0028	0,0099	0,0013
1 GHz	-0,0019	0,0038	-0,0001	0,0038	0,0000	0,0048	0,0010	0,0069	0,0006	0,0028	0,0002	0,0014
5 GHz	-0,0004	0,0037	-0,0005	0,0037	0,0001	0,0058	-0,0019	0,0129	0,0005	0,0027	-0,0114	0,0015
10 GHz	-0,0001	0,0046	-0,0004	0,0046	-0,0011	0,0067	-0,0011	0,0139	0,0004	0,0025	0,0292	0,0020
15 GHz	-0,0017	0,0045	0,0008	0,0045	0,0009	0,0077	0,0039	0,0138	0,0004	0,0036	-0,0049	0,0022
18 GHz	-0,0008	0,0045	0,0001	0,0045	-0,0004	0,0077	0,0016	0,0138	0,0012	0,0037	0,0173	0,0023

Tabelle 7: Auswertung des Grades der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors

Es bedeuten

- D : Grad der Äquivalenz
 U_D : Erweiterte Messunsicherheit des Grades der Äquivalenz ($k = 2$)

Hieraus ergeben sich die folgenden normalisierten Fehler E_N (Formeln 13 und 14)

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N
50 MHz	-0,05	0,19	-0,14	-0,01	0,13	-0,15	-0,17	0,23	-0,03	0,12	-0,23	-0,33
500 MHz	-0,08	0,13	-0,09	0,02	0,03	-0,10	0,17	0,04	-0,16	0,18	-0,16	7,55
1 GHz	-0,04	0,11	-0,12	0,00	0,12	-0,12	-0,50	-0,02	0,01	0,15	0,23	0,17
5 GHz	-0,01	0,10	-0,39	0,01	0,17	-0,24	-0,10	-0,12	0,03	-0,14	0,20	-7,46
10 GHz	0,05	0,28	-0,05	-0,01	0,07	-0,20	-0,03	-0,09	-0,17	-0,08	0,15	14,76
15 GHz	0,03	0,05	-0,44	-0,01	-0,03	0,09	-0,37	0,19	0,12	0,28	0,12	-2,21
18 GHz	0,10	-0,14	0,00	-0,12	0,05	-0,32	-0,18	0,02	-0,05	0,11	0,32	7,60

Tabelle 8: Auswertung des normalisierten Fehlers des Betrages des Reflexionsfaktors

8.4.2 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

NRP-Z21, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 50 MHz

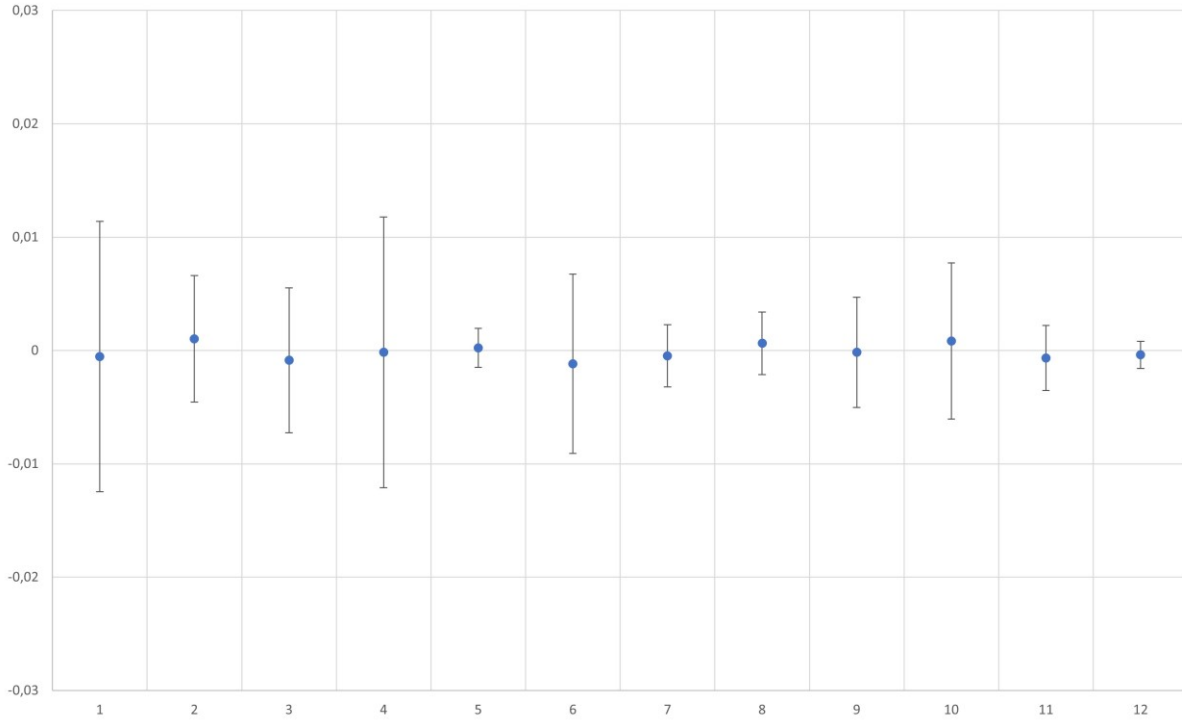


Abbildung 59: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 50 MHz

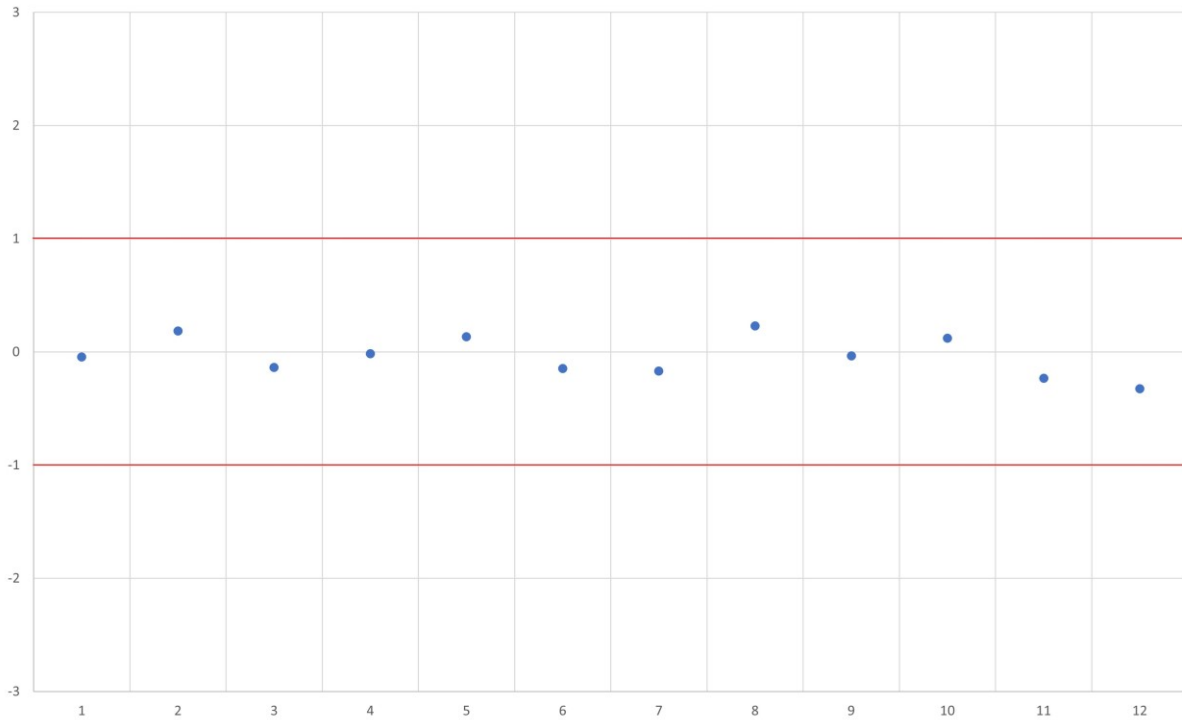


Abbildung 60: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

8.4.3 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

NRP-Z21, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 500 MHz

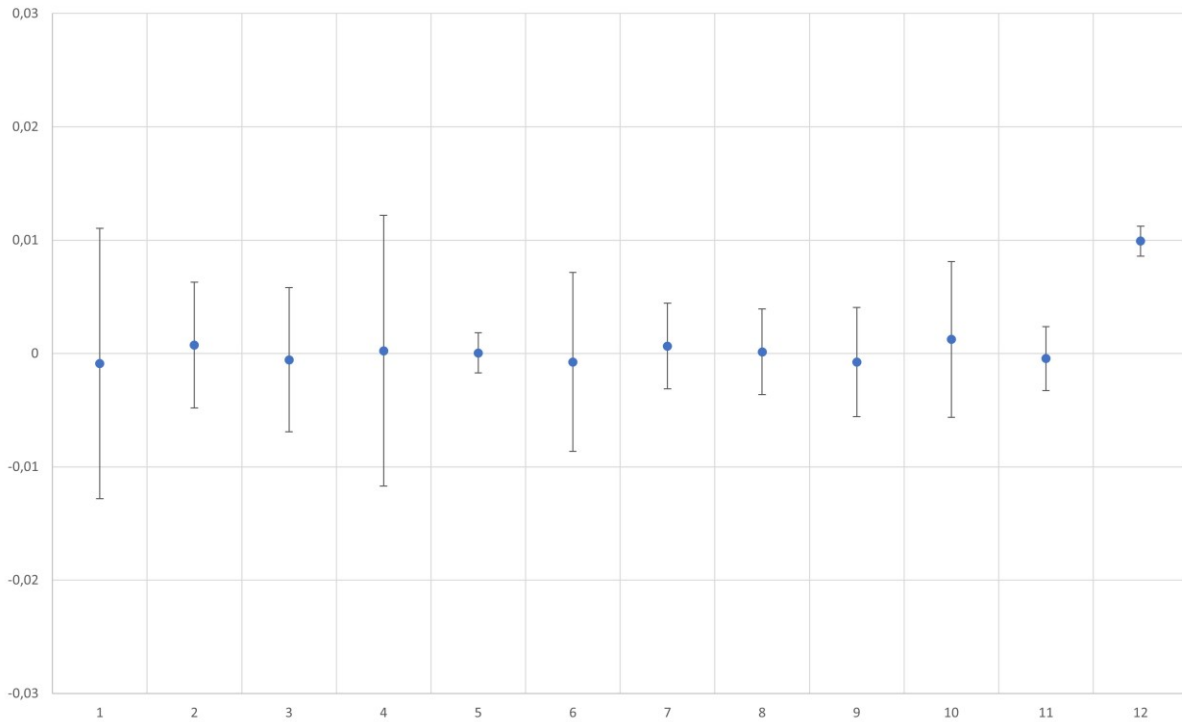


Abbildung 61: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 500 MHz

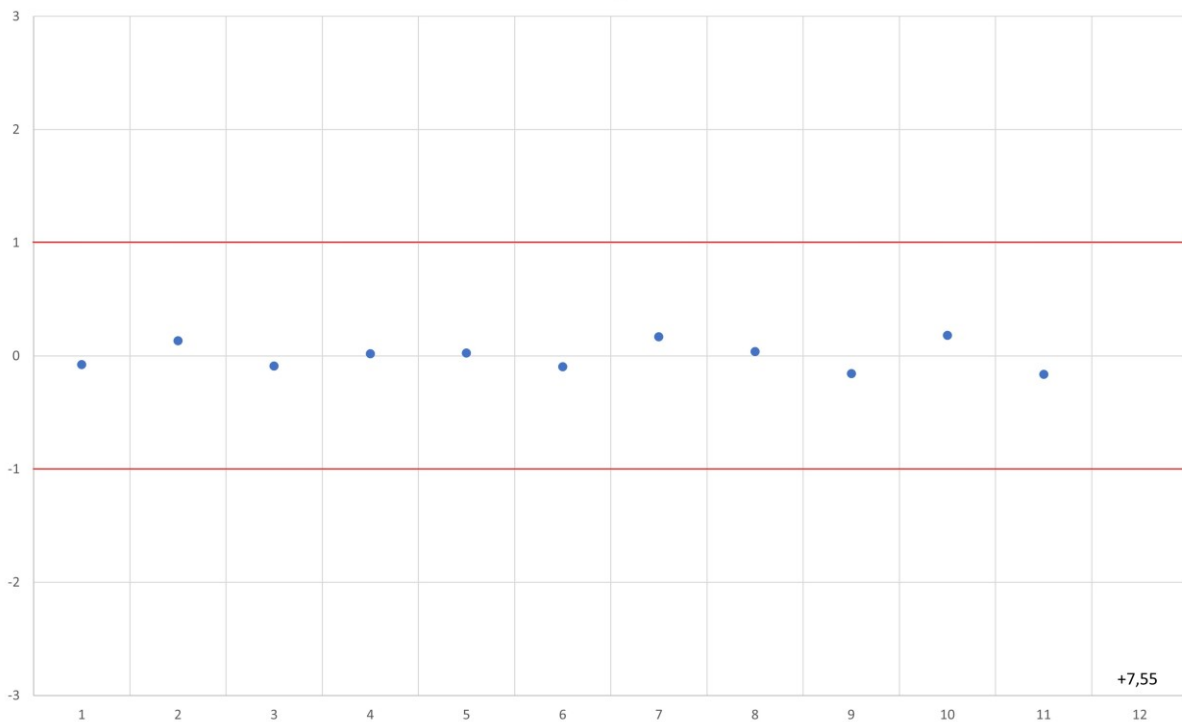


Abbildung 62: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

8.4.4 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

NRP-Z21, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 1 GHz

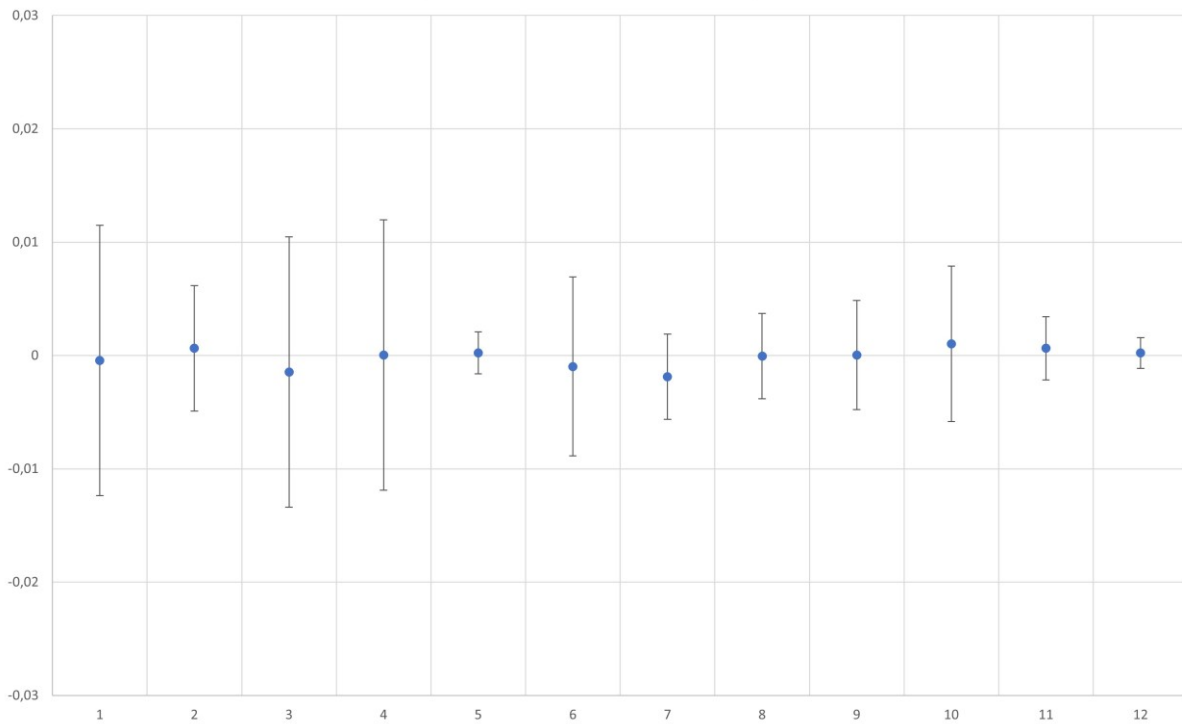


Abbildung 63: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 1 GHz

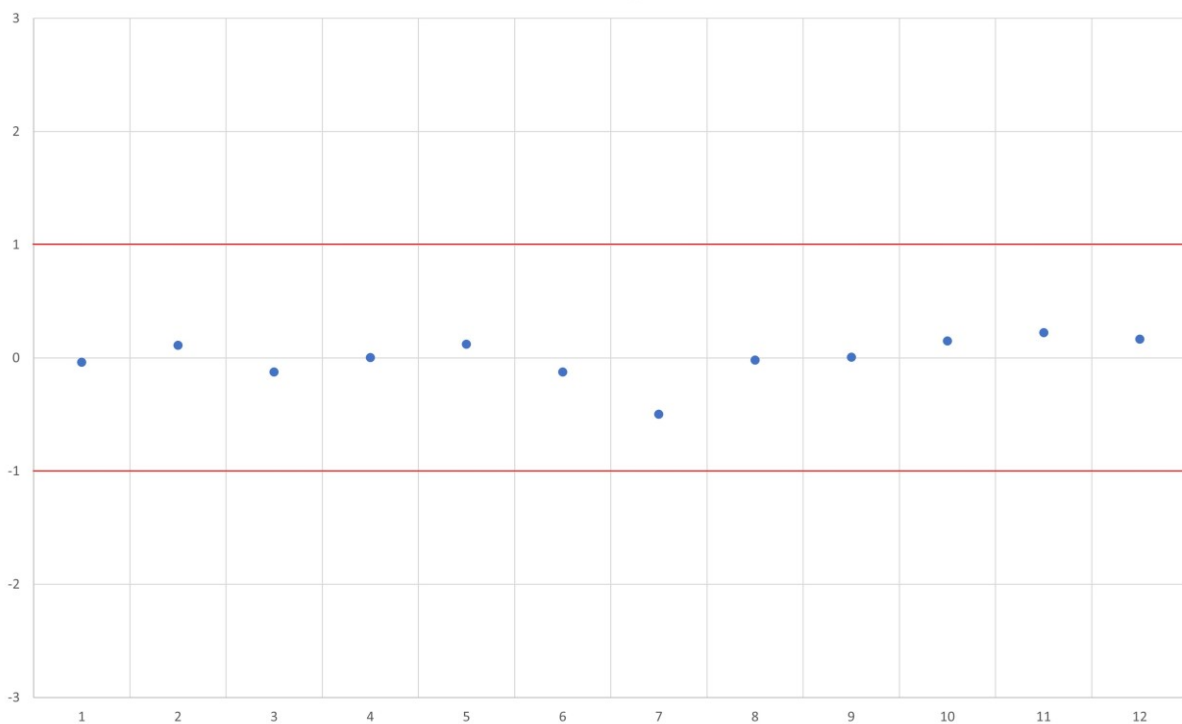


Abbildung 64: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

8.4.5 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

NRP-Z21, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 5 GHz

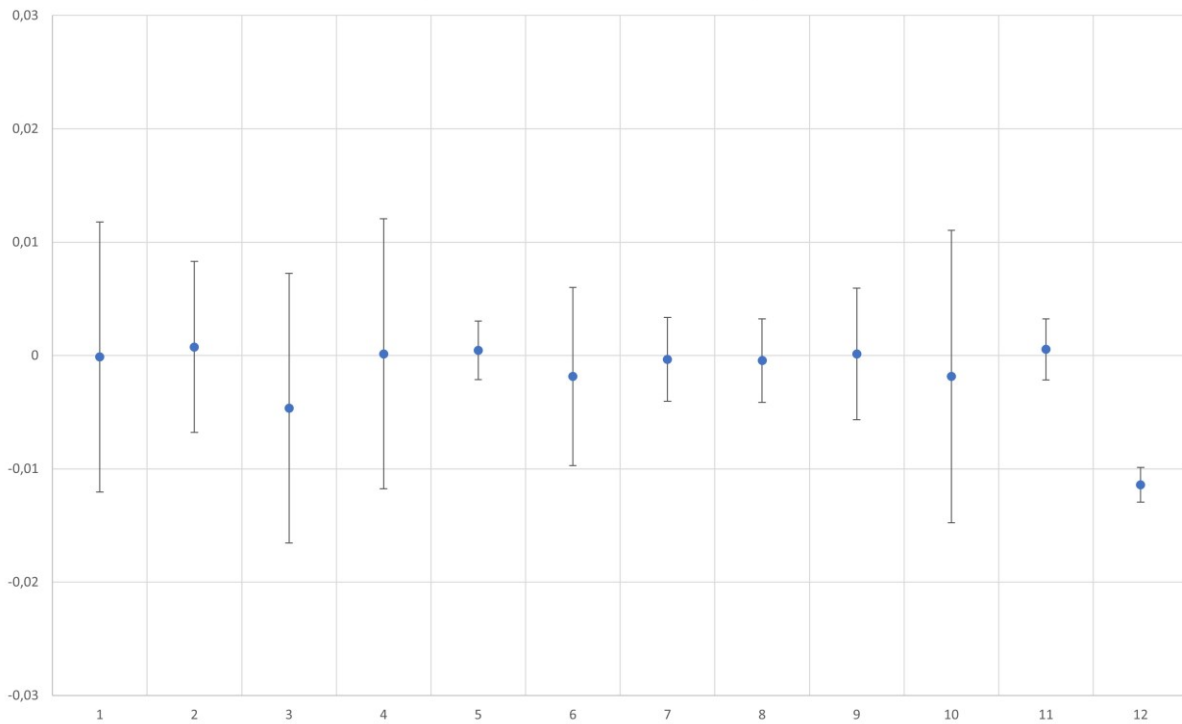


Abbildung 65: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 5 GHz

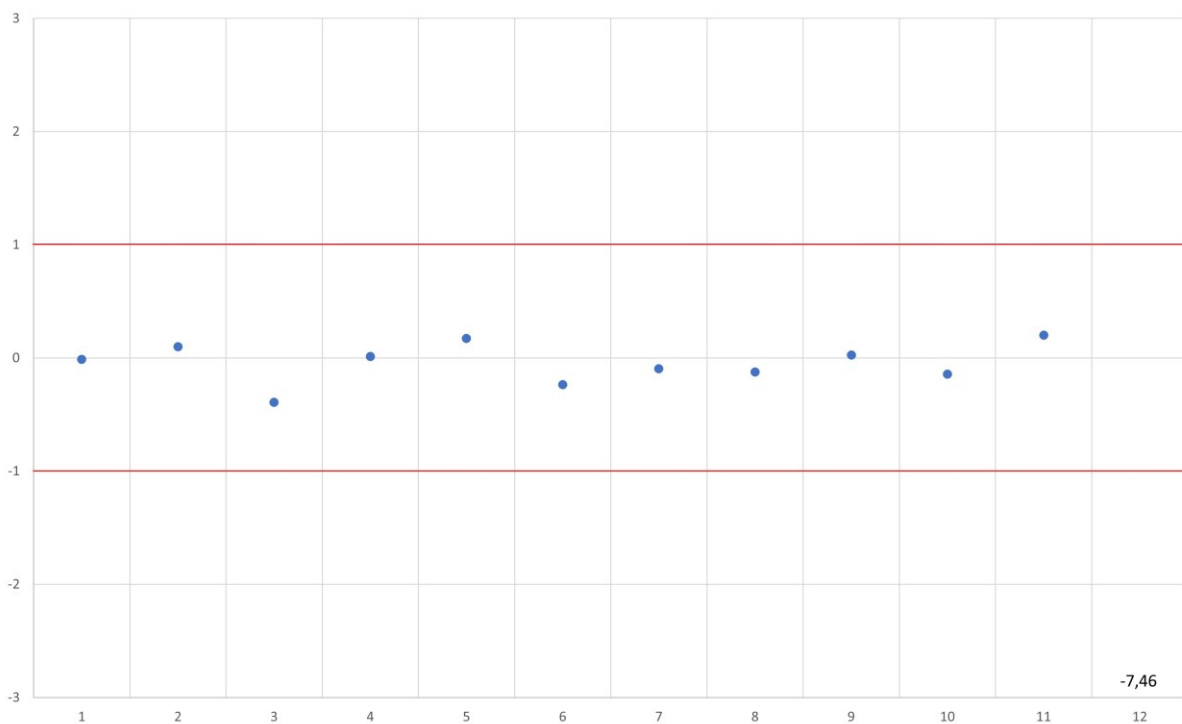


Abbildung 66: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

8.4.6 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

NRP-Z21, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 10 GHz

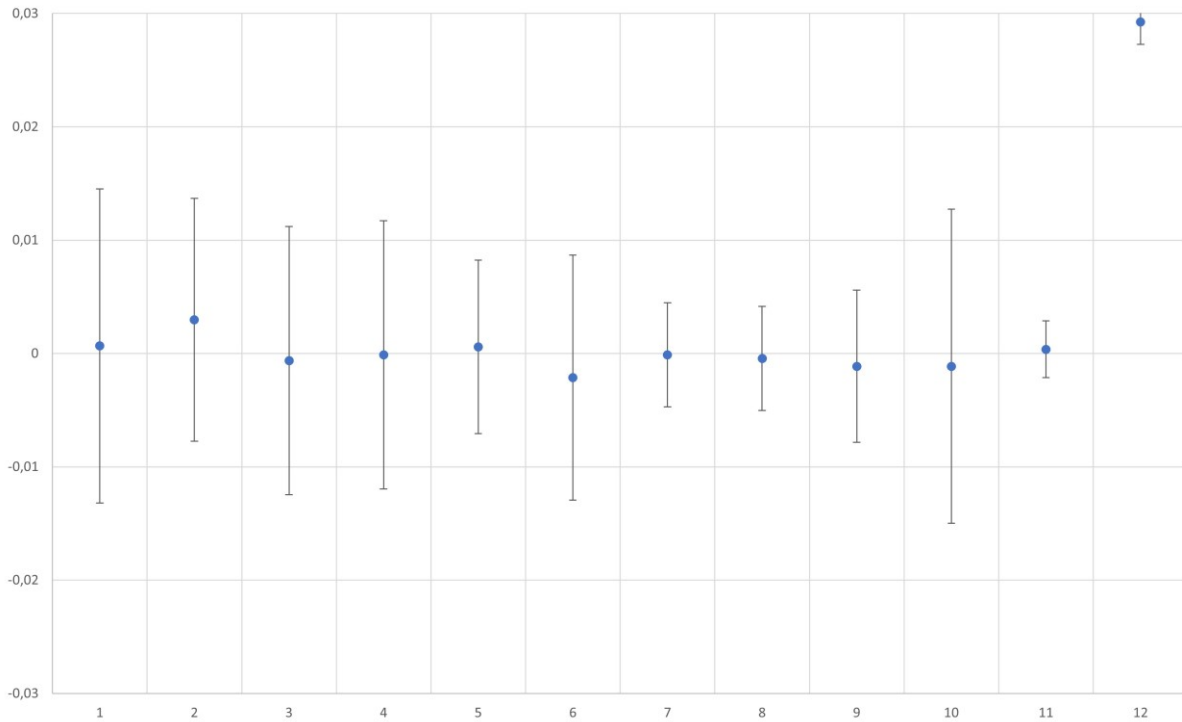


Abbildung 67: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 10 GHz

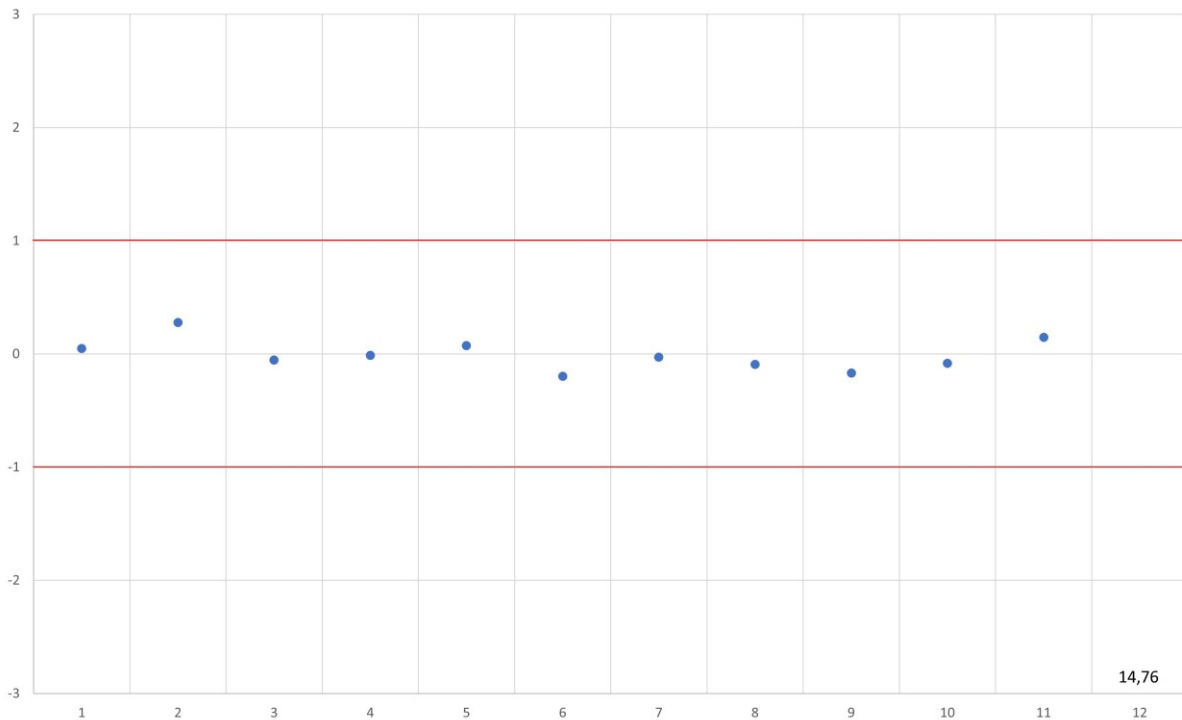


Abbildung 68: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

8.4.7 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

NRP-Z21, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 15 GHz

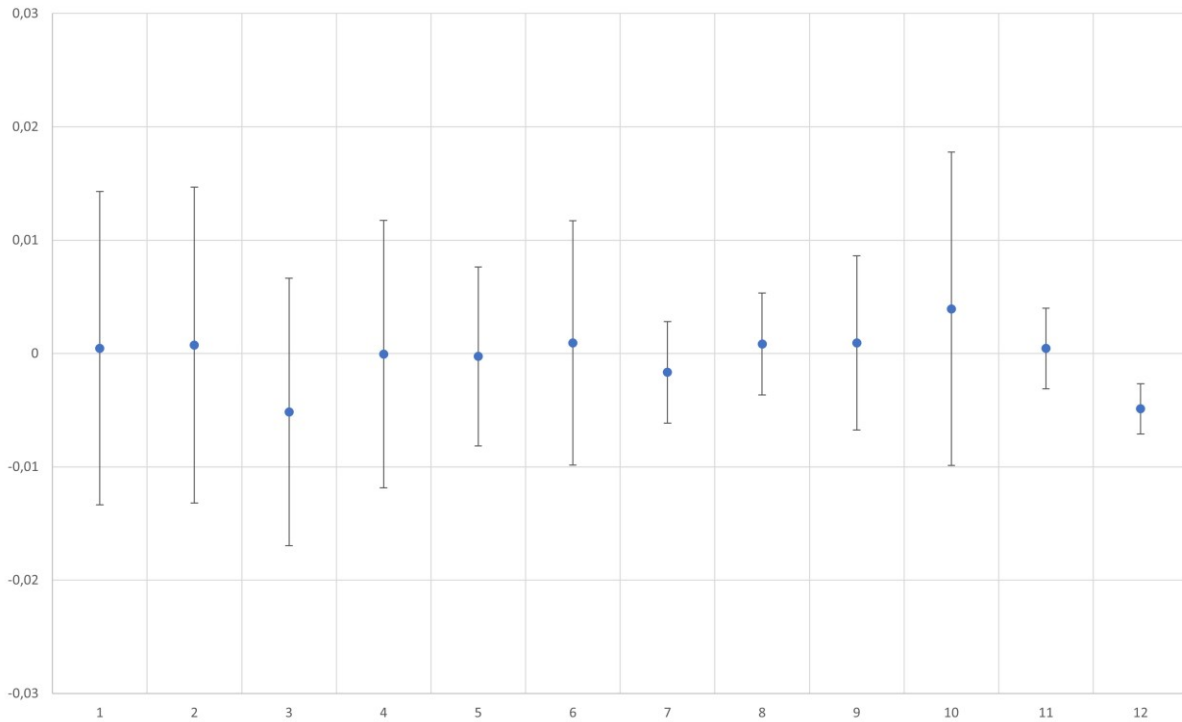


Abbildung 69: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 15 GHz

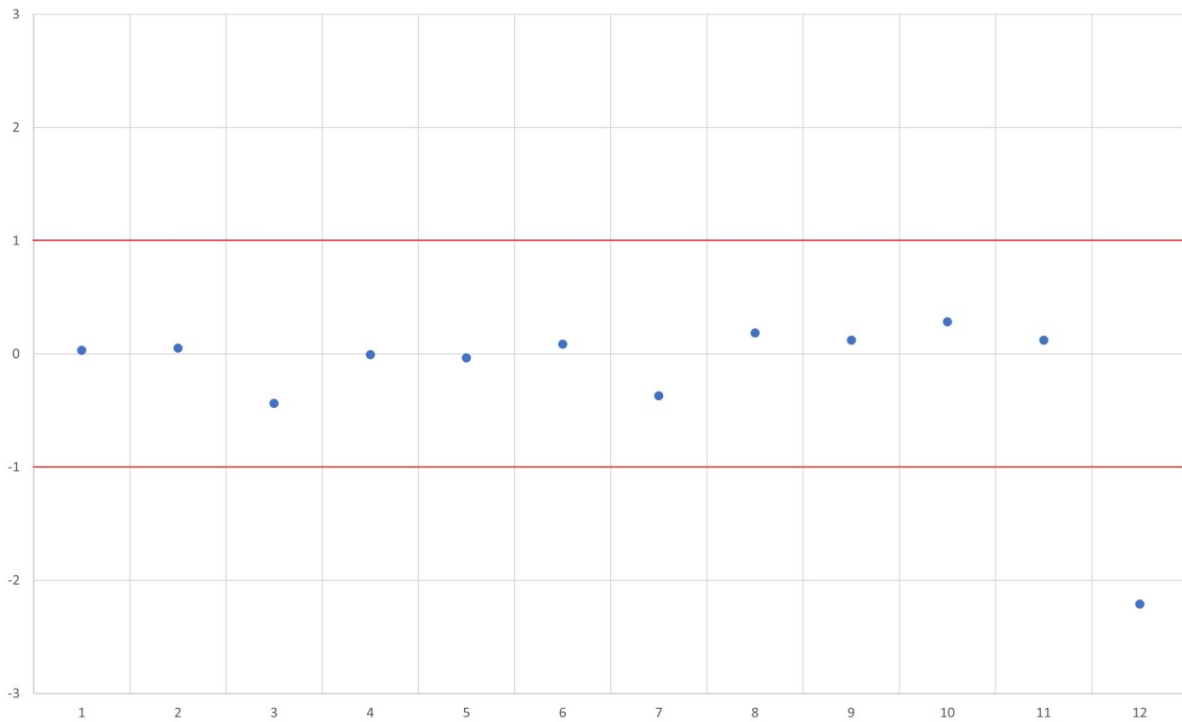


Abbildung 70: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

8.4.8 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

NRP-Z21, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 18 GHz

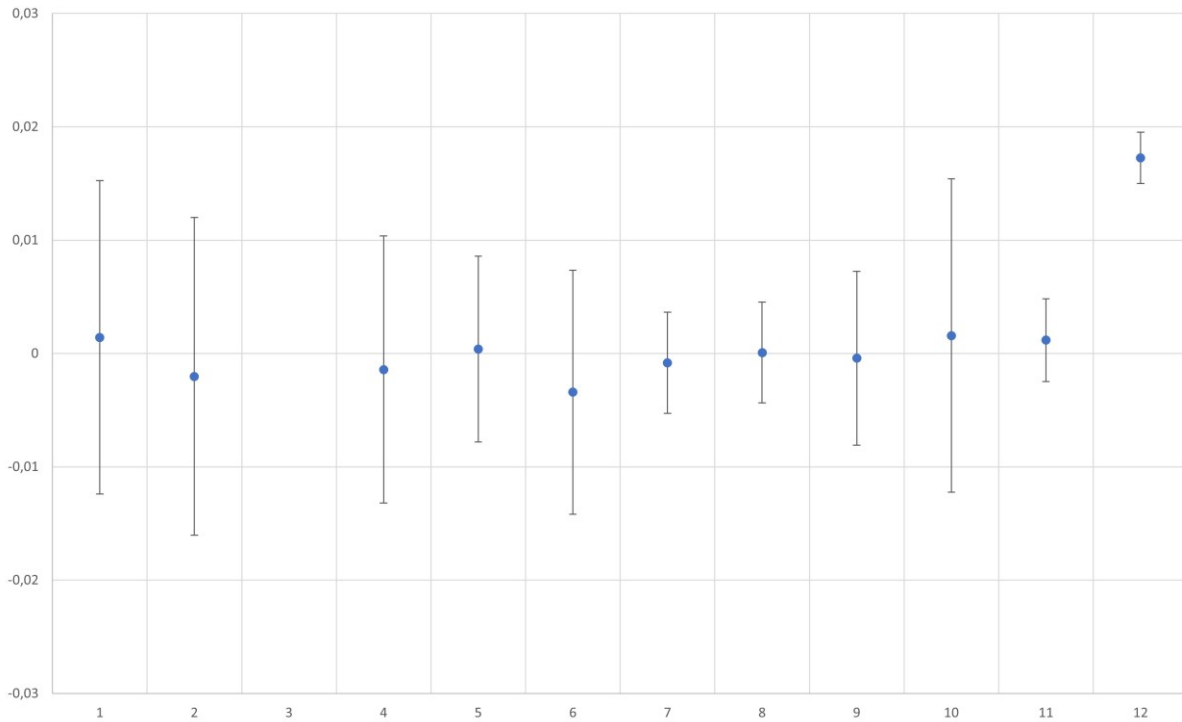


Abbildung 71: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 18 GHz

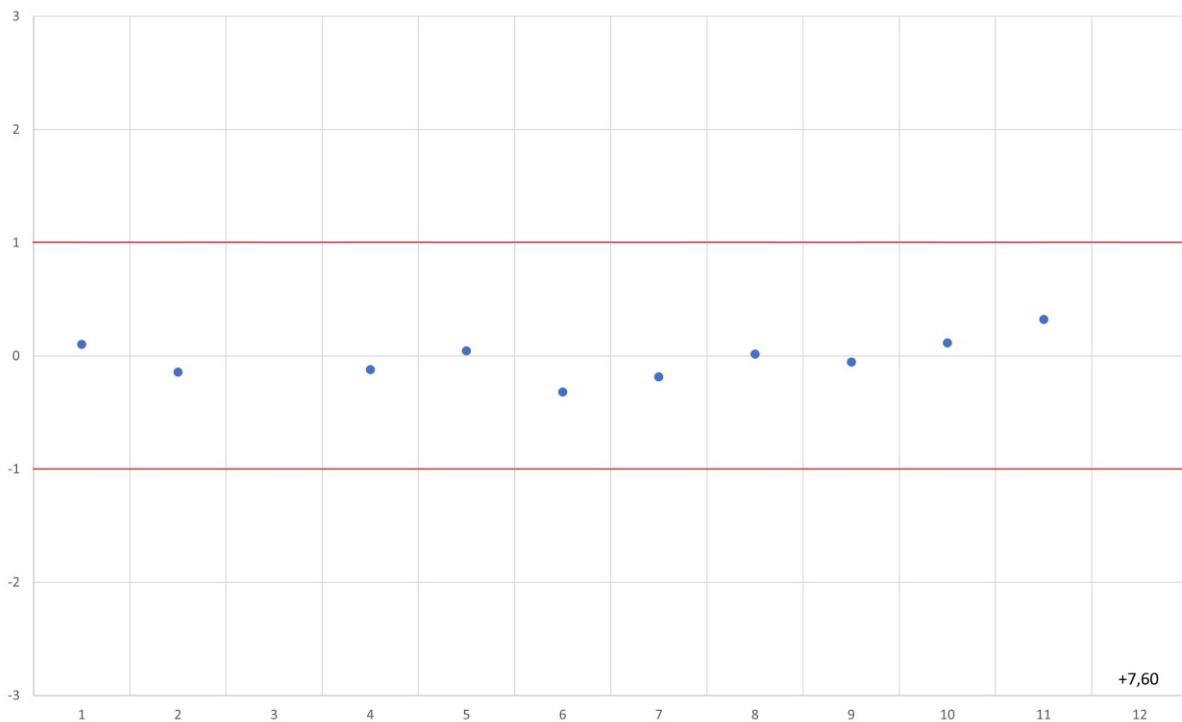


Abbildung 72: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

8.5 Die Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21

8.5.1 Auswertung der Messergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors

Messpunkt	1. Auswertung				2. Auswertung						
	N	F_N	$\chi^2_{(N-1; 0.05)}$	Konsistenz	r	F_r	$\chi^2_{(r-1; 0.05)}$	Konsistenz	x_{CRV}	$u(x_{CRV})$	$U(x_{CRV})$
50 MHz	11	2,3	18	WAHR	11	2,3	18	WAHR	5,59882	3,96598	7,93197
500 MHz	11	6,2	18	WAHR	11	6,2	18	WAHR	-16,87647	3,79029	7,58058
1 GHz	11	1,7	18	WAHR	11	1,7	18	WAHR	-67,47217	4,02622	8,05244
5 GHz	11	85,6	18	FALSCH	9	1,3	16	WAHR	-146,52529	1,86255	3,72510
10 GHz	11	2236,8	18	FALSCH	9	0,8	16	WAHR	30,09349	1,14283	2,28566
15 GHz	11	164,2	18	FALSCH	9	1,1	16	WAHR	175,73455	1,81304	3,62608
18 GHz	10	136,2	17	FALSCH	8	1,5	14	WAHR	151,92718	1,36122	2,72244

Tabelle 9: Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors und Prüfung der Konsistenzen

Es bedeutet:

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**

N : Anzahl der Ergebnisse der 1. Auswertung

F_N : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(N-1; 0.05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**

r : Anzahl der berücksichtigten Ergebnisse der 2. Auswertung

F_r : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(r-1; 0.05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

Messpunkt	1. Auswertung					2. Auswertung				
	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad
50 MHz	5,599	3,966	7,932	11	10	5,599	3,966	7,932	11	10
500 MHz	-16,876	3,790	7,581	11	10	-16,876	3,790	7,581	11	10
1 GHz	-67,472	4,026	8,052	11	10	-67,472	4,026	8,052	11	10
5 GHz	-146,609	1,714	3,429	11	10	-146,525	1,863	3,725	9	8
10 GHz	14,943	1,097	2,193	11	10	30,093	1,143	2,286	9	8
15 GHz	169,726	1,684	3,369	11	10	175,735	1,813	3,626	9	8
18 GHz	147,912	1,305	2,610	10	9	151,927	1,361	2,722	8	7

Tabelle 10: Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors mit Bestimmung des gewichteten Mittelwertes

Es bedeuten

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur 1. Auswertung

x_{ref} : Mittelwert aller Frequenzpunkte

$u(x_{ref})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte

Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)
 2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der 2. Auswertung
 x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert
 $u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}
 $U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)
 LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
 Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

Aus den obigen Berechnungen und den entsprechenden Auswertungen ergeben sich für die Teilnehmer folgende Grade der Äquivalenz (Formel 10) mit deren erweiterten Unsicherheiten (Formeln 11 und 12).

Teilnehmer	1		2		3		4		5		6	
Frequenz	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	89,65	179,83	-4,78	66,06	2,40	5,23	-5,60	179,83	-3,75	21,59	-4,00	179,83
500 MHz	130,17	179,84	-6,04	48,48	4,58	6,37	-3,12	179,84	-12,62	16,33	-11,12	179,84
1 GHz	-44,31	179,82	6,08	47,40	3,47	7,49	-2,53	179,82	-5,86	17,21	-0,53	79,59
5 GHz	-22,57	10,67	73,06	18,66	2,53	11,41	0,53	28,76	-2,77	6,16	-0,47	49,86
10 GHz	-172,99	11,23	-208,91	11,25	0,91	14,82	0,91	12,80	0,75	7,88	-1,09	39,93
15 GHz	-24,96	10,64	-134,83	22,25	1,27	19,67	-0,73	18,65	-2,01	12,48	-0,73	39,84
18 GHz	-33,90	11,33	-85,84	16,88	-	-	-0,93	13,73	0,55	8,89	-3,93	39,91

Teilnehmer	7		8		9		10		11		12	
Frequenz	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	-6,00	39,21	-4,00	30,07	-12,60	73,47	-4,90	69,55	-17,40	41,55	19,34	7,93
500 MHz	4,88	32,01	-12,12	34,48	-8,02	53,77	-20,32	56,49	4,38	27,47	115,36	7,58
1 GHz	1,47	50,87	-5,63	34,16	-1,43	51,47	-18,23	50,36	-1,13	22,18	200,49	8,05
5 GHz	2,93	9,06	0,33	9,06	0,63	13,91	-6,67	34,80	0,23	6,51	81,67	3,73
10 GHz	-0,09	4,78	-1,69	4,78	0,71	7,35	-2,79	14,82	0,61	2,91	115,43	2,29
15 GHz	1,27	7,24	2,47	6,68	-1,93	10,91	-4,63	19,67	-1,13	5,75	-51,45	3,63
18 GHz	-1,03	5,01	2,57	4,89	-1,83	8,68	-4,23	14,75	-0,23	4,31	-190,08	2,72

Tabelle 11: Auswertung des Grades der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors

Es bedeuten

D : Grad der Äquivalenz
 U_D : Erweiterte Messunsicherheit des Grades der Äquivalenz ($k = 2$)

Hieraus ergeben sich die folgenden normalisierten Fehler E_N (Formeln 13 und 14)

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frequenz	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N
50 MHz	0,50	-0,07	0,46	-0,03	-0,17	-0,02	-0,15	-0,13	-0,17	-0,07	-0,42	2,44
500 MHz	0,72	-0,12	0,72	-0,02	-0,77	-0,06	0,15	-0,35	-0,15	-0,36	0,16	15,22
1 GHz	-0,25	0,13	0,46	-0,01	-0,34	-0,01	0,03	-0,16	-0,03	-0,36	-0,05	24,90
5 GHz	-2,12	3,92	0,22	0,02	-0,45	-0,01	0,32	0,04	0,04	-0,19	0,03	21,93
10 GHz	-15,40	-18,56	0,06	0,07	0,09	-0,03	-0,02	-0,35	0,10	-0,19	0,21	50,50
15 GHz	-2,35	-6,06	0,06	-0,04	-0,16	-0,02	0,17	0,37	-0,18	-0,24	-0,20	-14,19
18 GHz	-2,99	-5,08	0,00	-0,07	0,06	-0,10	-0,21	0,53	-0,21	-0,29	-0,05	-69,82

Tabelle 12: Auswertung des normalisierten Fehlers der Phase des Reflexionsfaktors

8.5.2 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

NRP-Z21, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 50 MHz

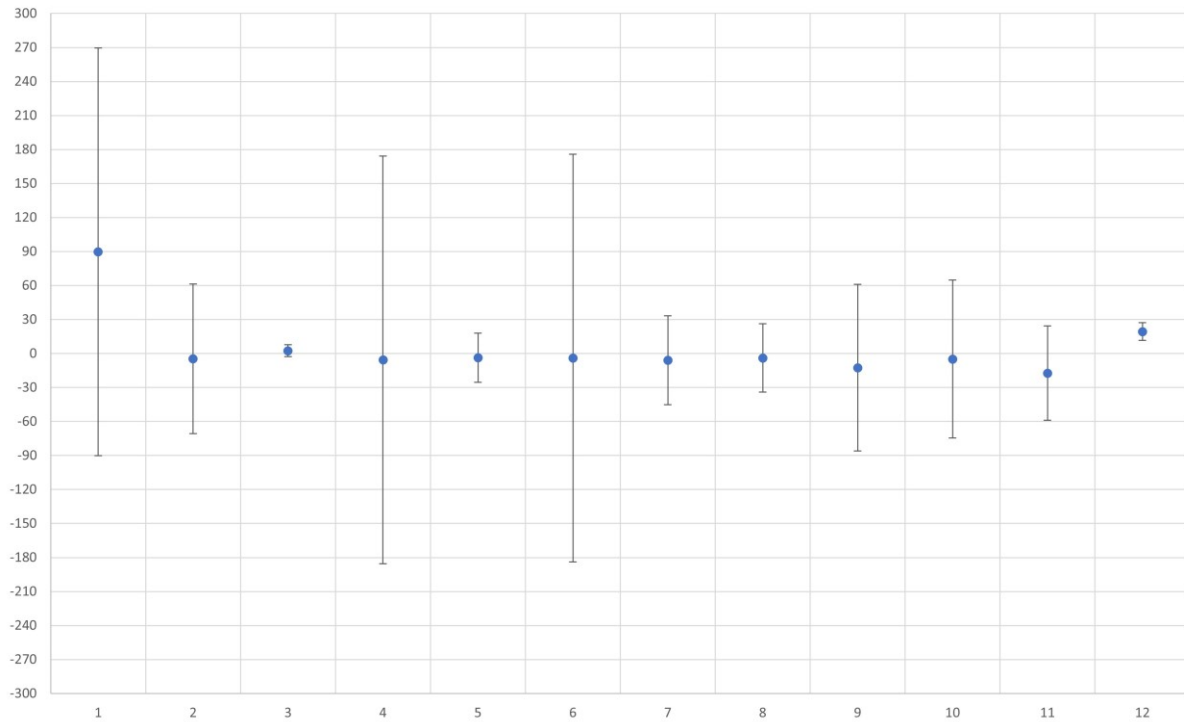


Abbildung 73: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 50 MHz

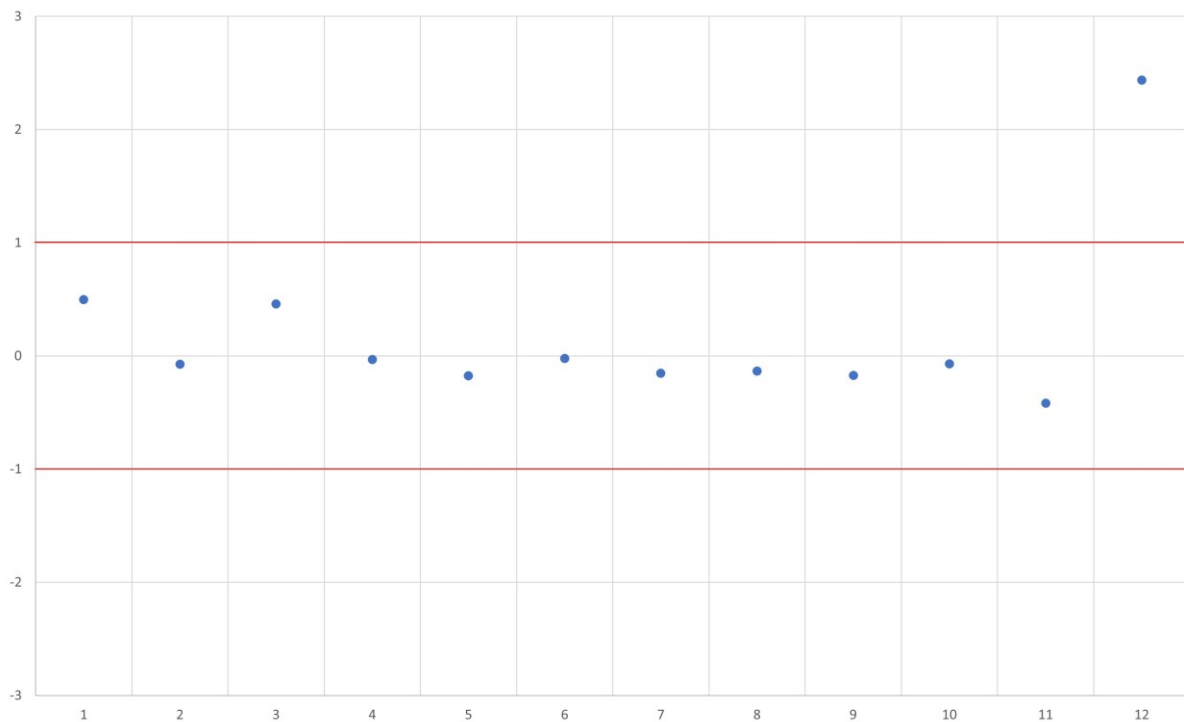


Abbildung 74: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 50 MHz

8.5.3 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

NRP-Z21, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 500 MHz

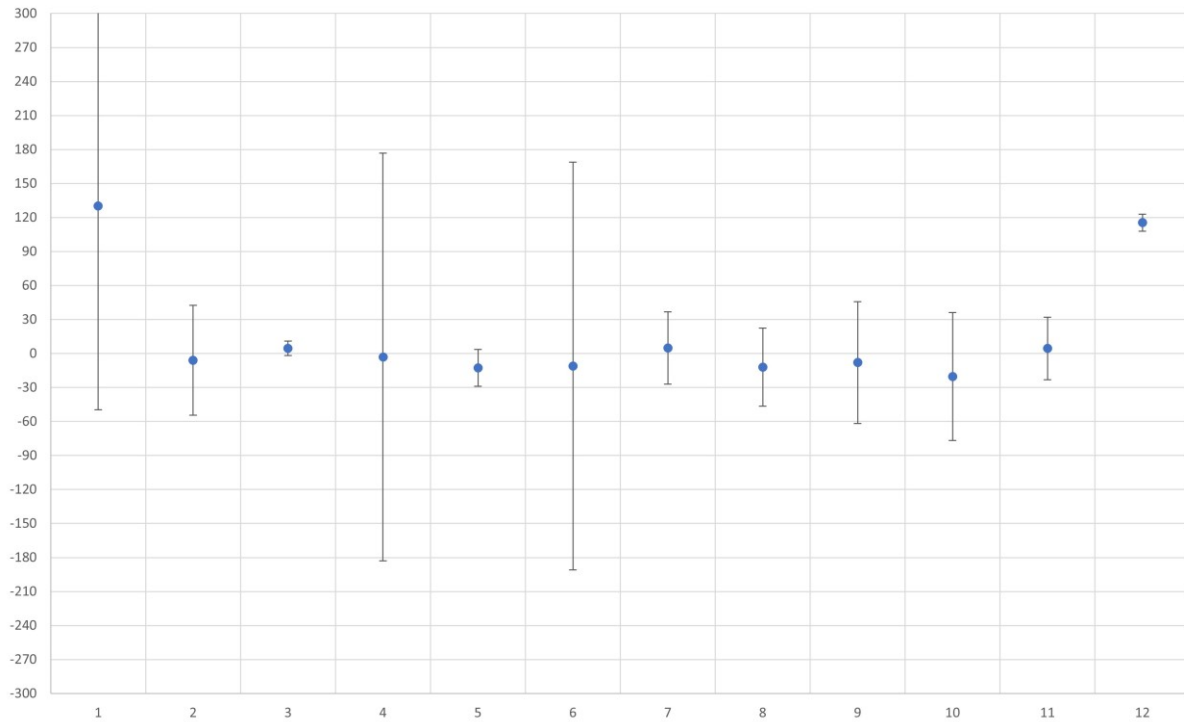


Abbildung 75: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 500 MHz

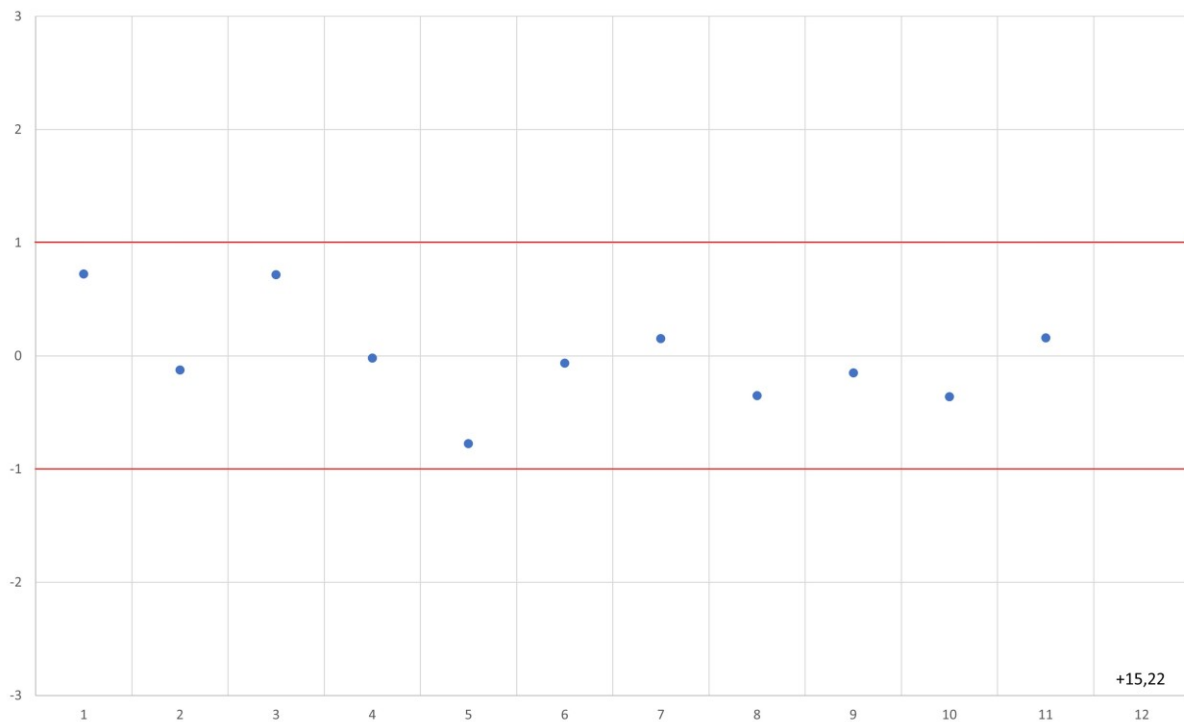


Abbildung 76: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 500 MHz

8.5.4 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

NRP-Z21, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 1 GHz

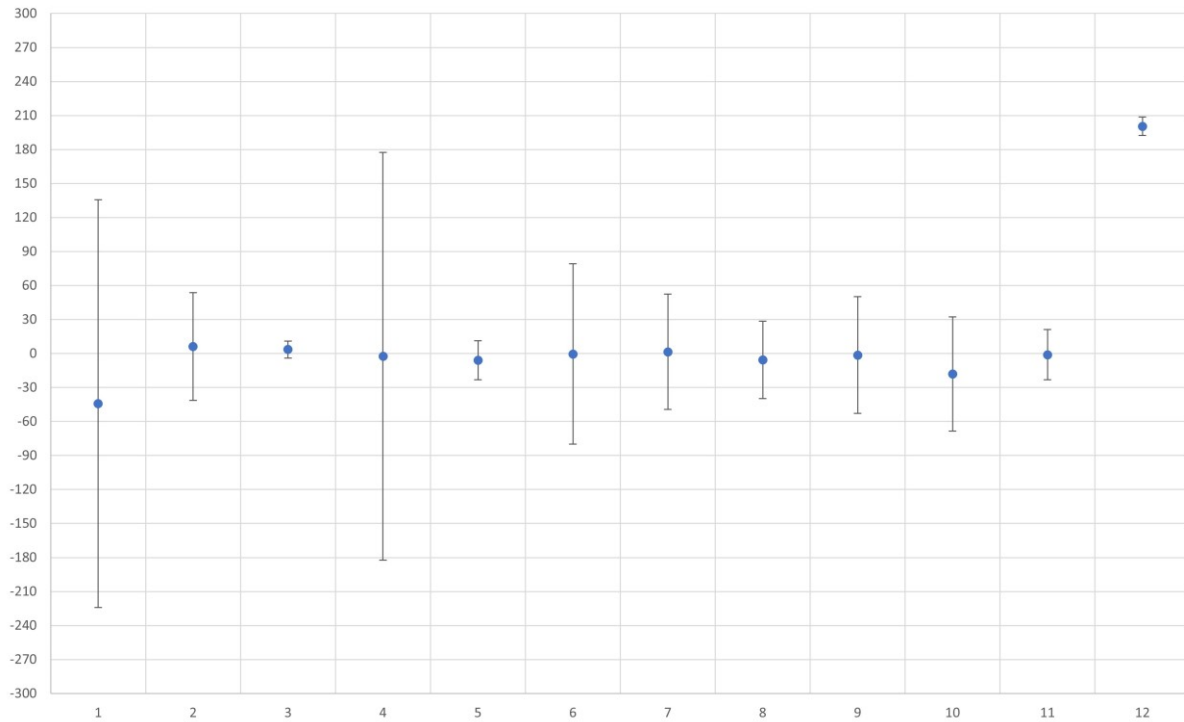


Abbildung 77: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 1 GHz

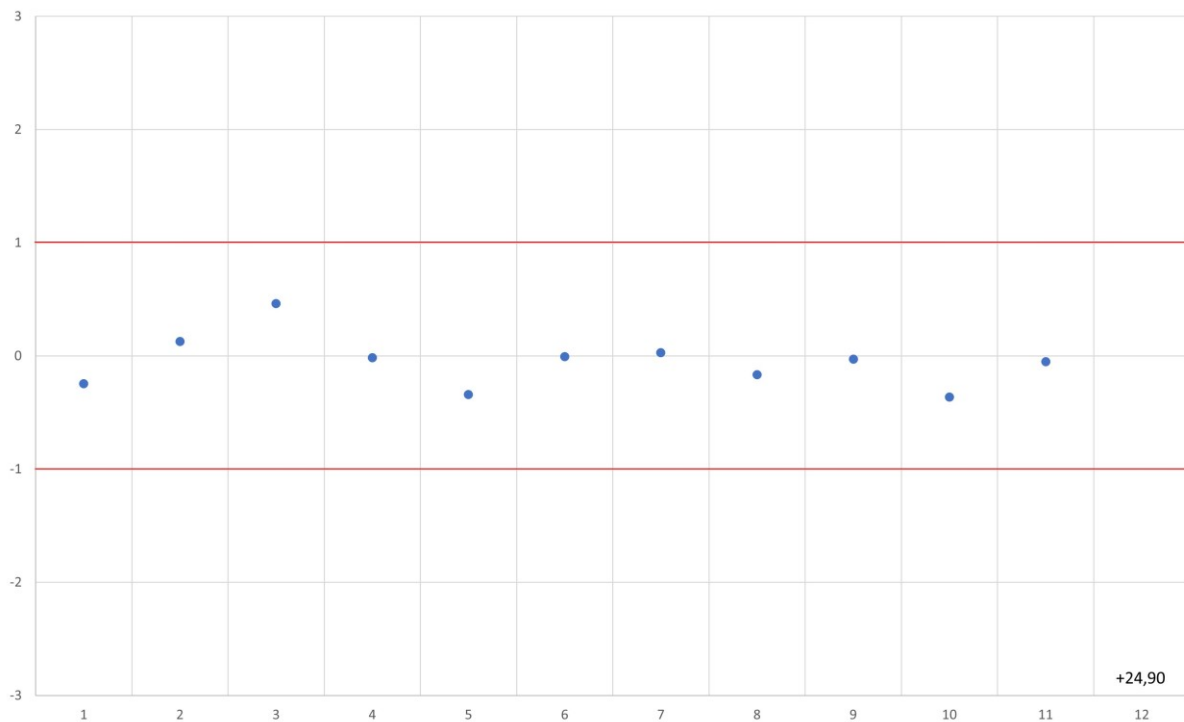


Abbildung 78: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 1 GHz

8.5.5 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

NRP-Z21, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 5 GHz

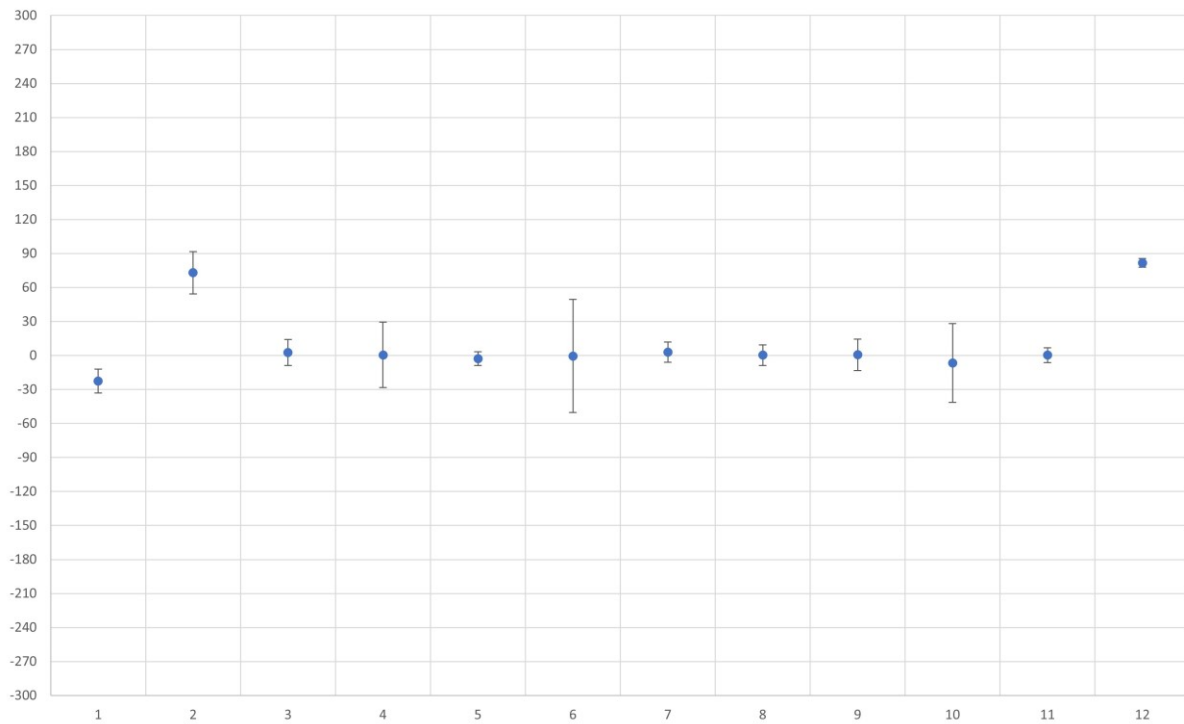


Abbildung 79: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 5 GHz

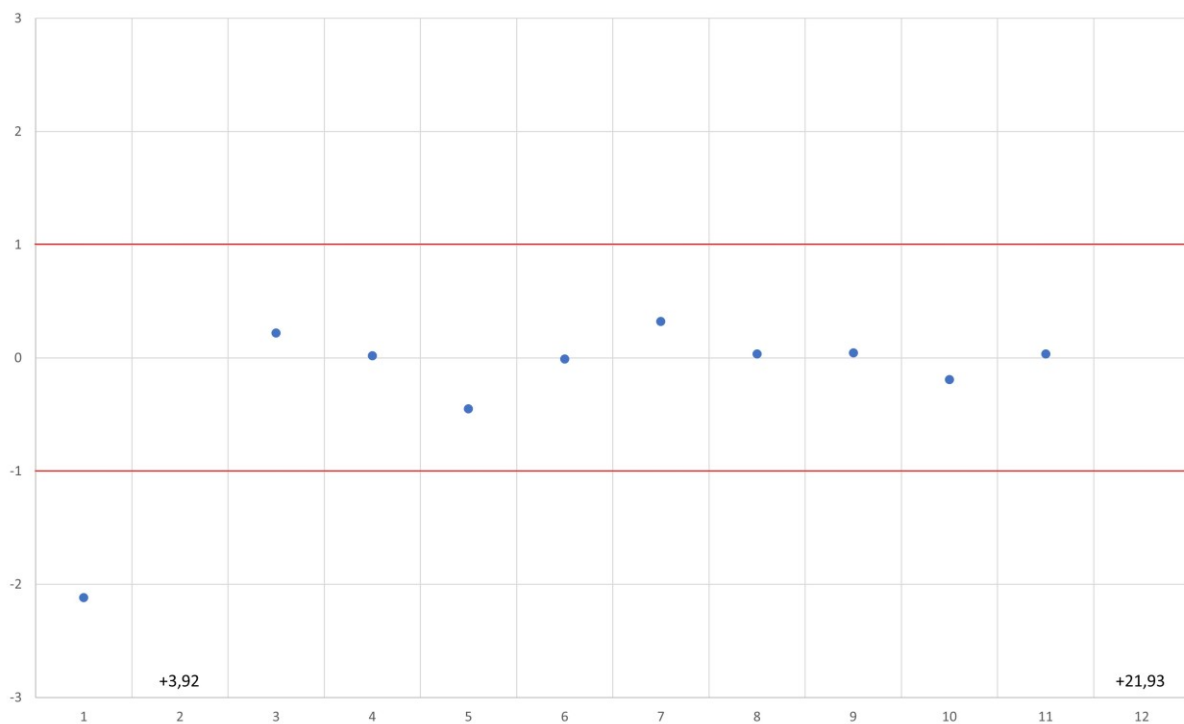


Abbildung 80: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 5 GHz

8.5.6 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

NRP-Z21, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 10 GHz

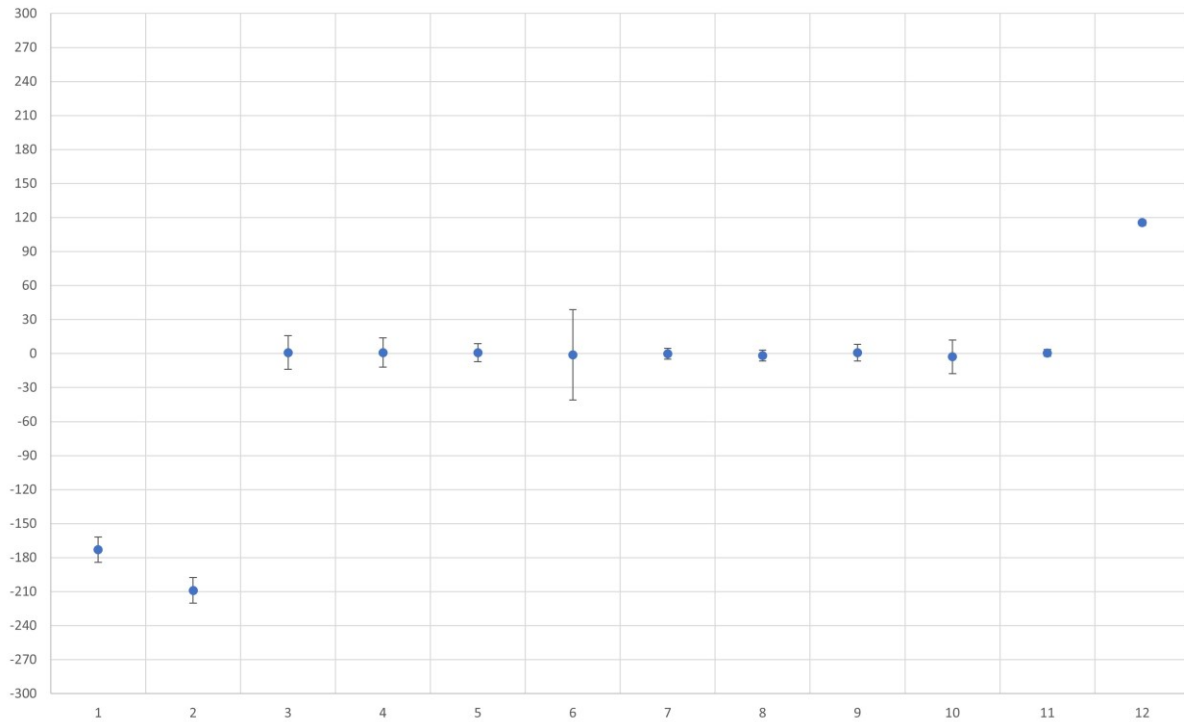


Abbildung 81: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 10 GHz

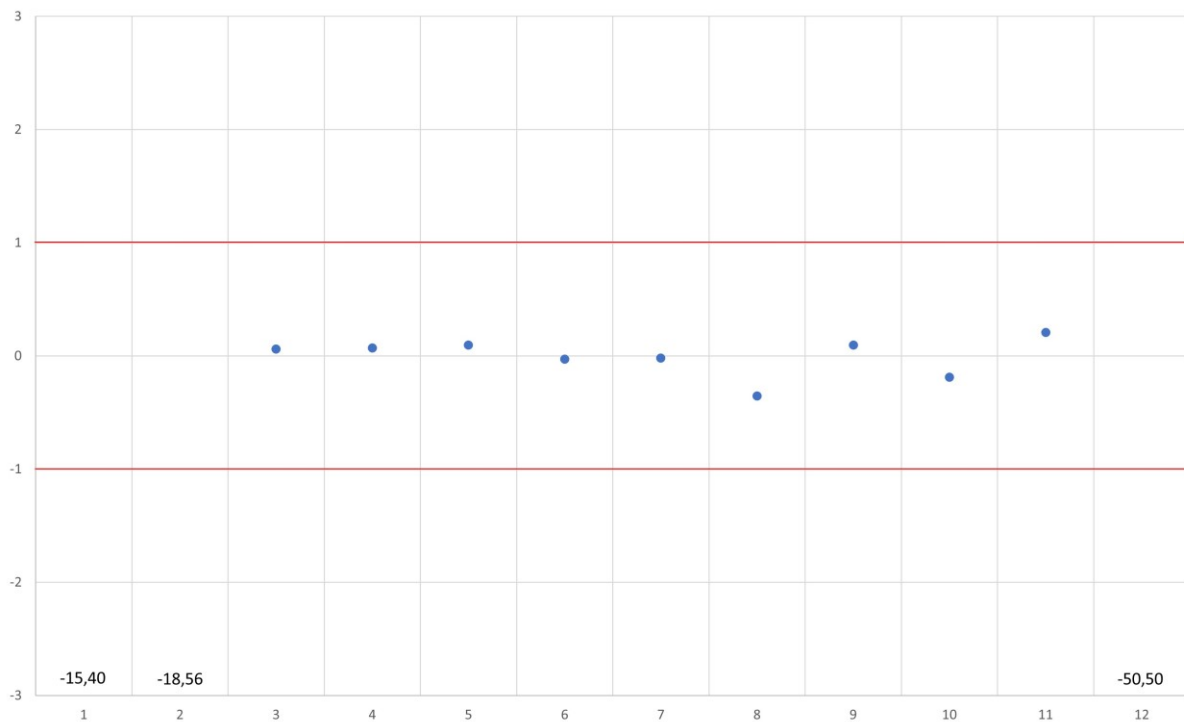


Abbildung 82: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 10 GHz

8.5.7 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

NRP-Z21, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 15 GHz

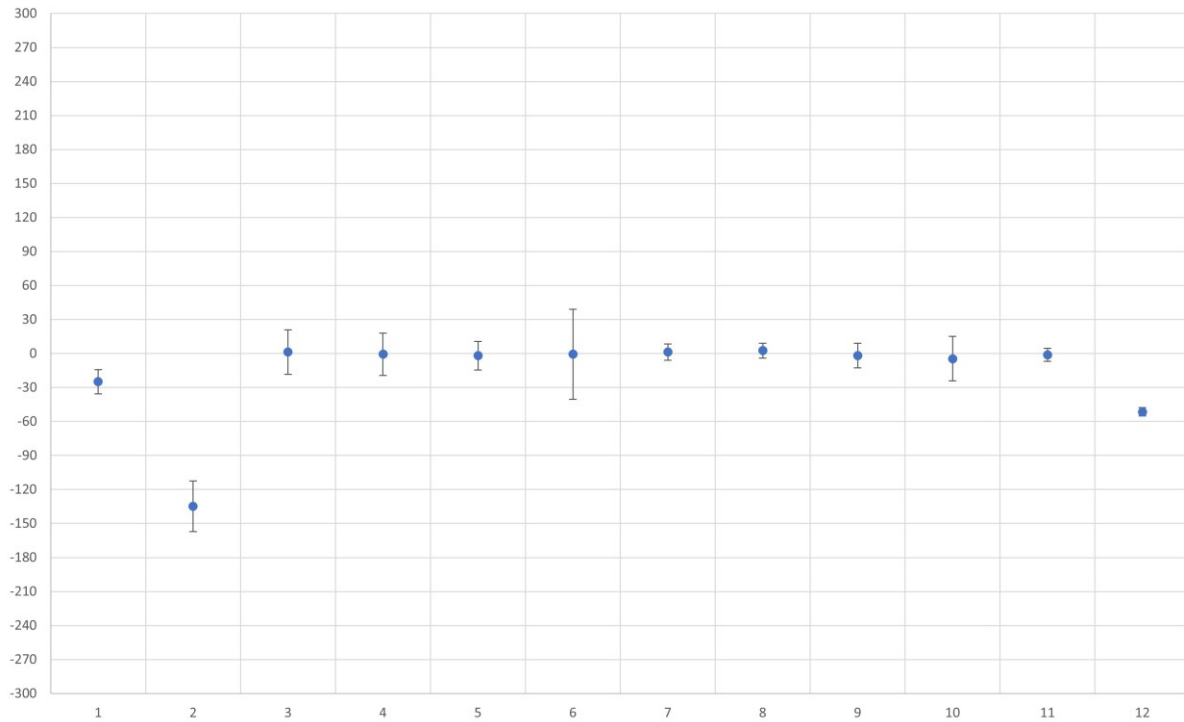


Abbildung 83: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 15 GHz

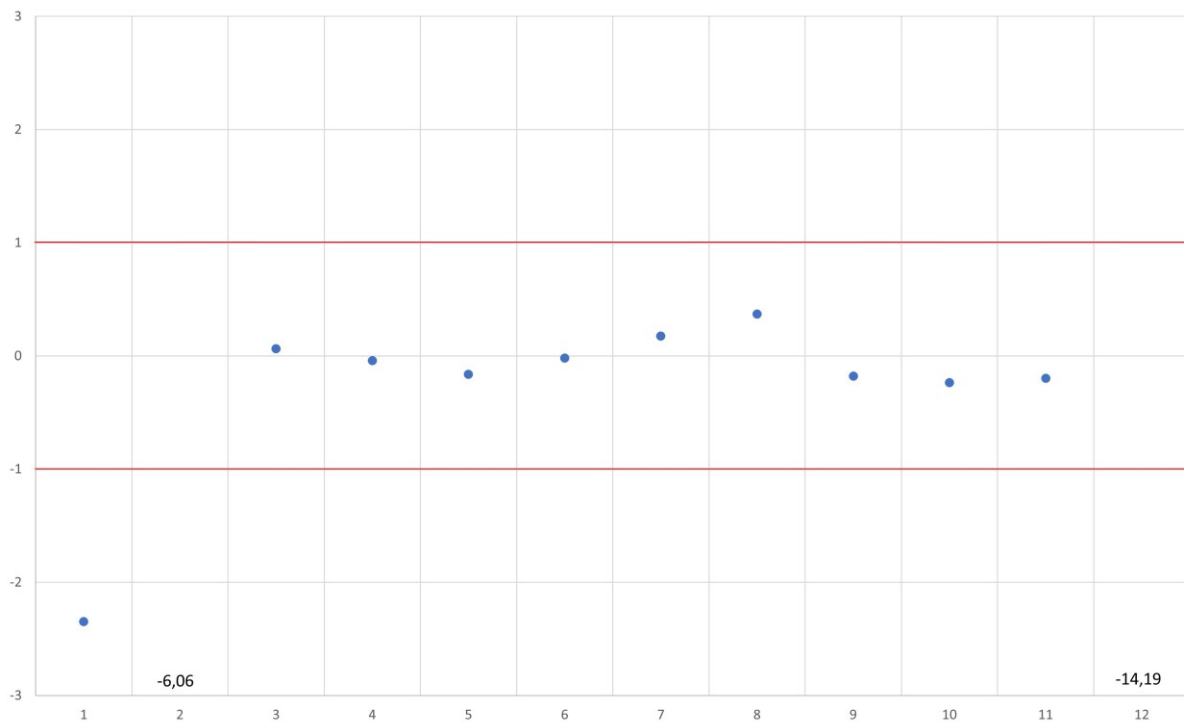


Abbildung 84: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 15 GHz

8.5.8 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

NRP-Z21, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 18 GHz

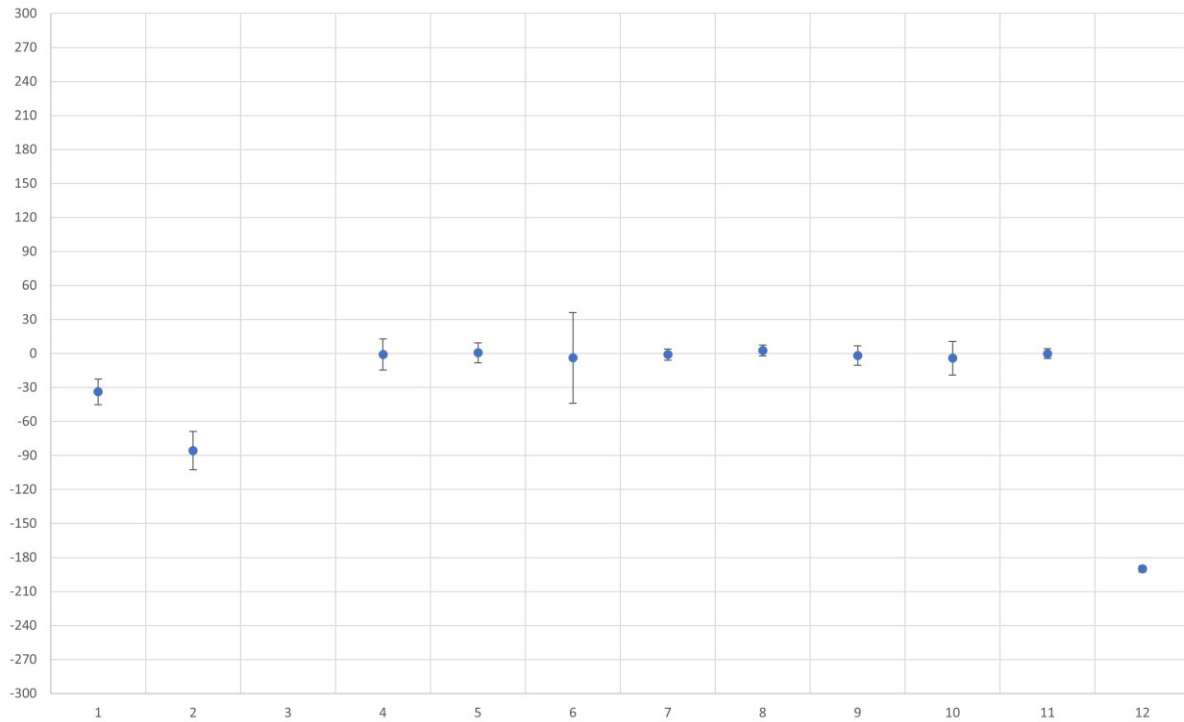


Abbildung 85: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

NRP-Z21, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 18 GHz

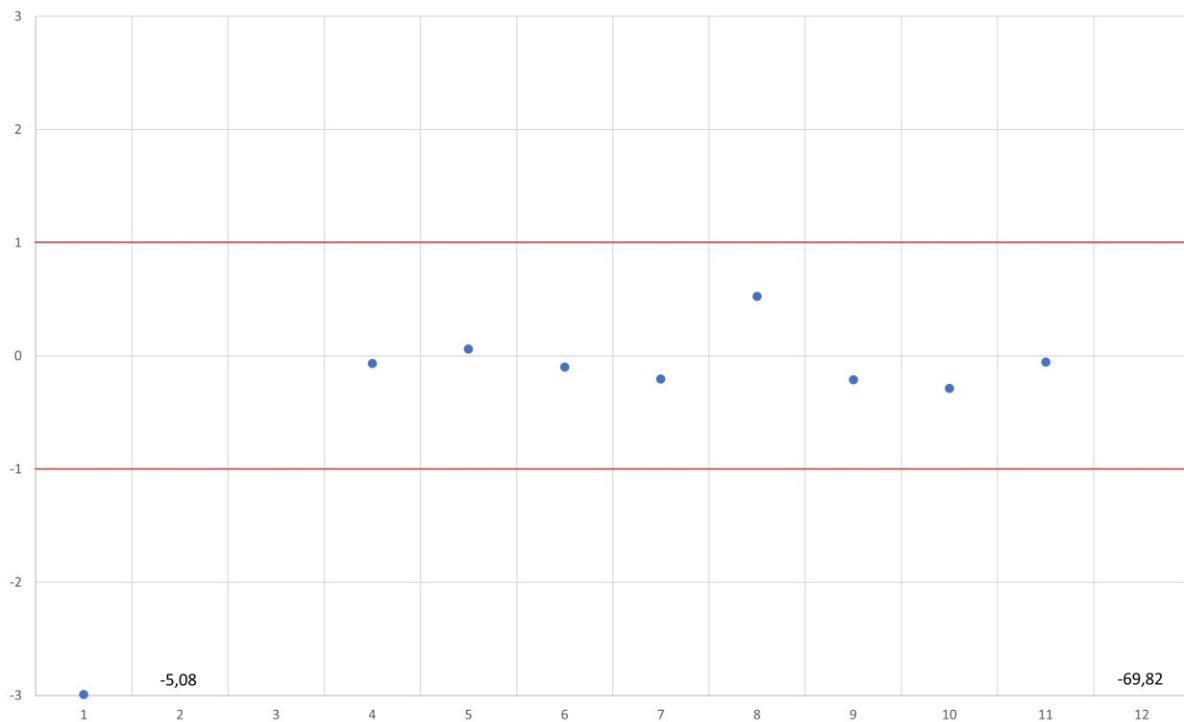


Abbildung 86: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z21 bei 18 GHz

8.6 Die Pin-Tiefe des NRP-Z21

8.6.1 Auswertung der Messergebnisse der Pin-Tiefe

Messpunkt	1. Auswertung				2. Auswertung						
	N	F_N	$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$	Konsistenz	r	F_r	$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$	Konsistenz	x_{CRV}	$u(x_{CRV})$	$U(x_{CRV})$
Pin-Tiefe	12	17,5	20	WAHR	10	3,1	17	WAHR	-51,0106	1,4773	2,9545

Tabelle 13: Auswertung der Pin-Tiefe und Prüfung der Konsistenz

Es bedeutet:

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**

N : Anzahl der Ergebnisse der 1. Auswertung

F_N : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**

r : Anzahl der berücksichtigten Ergebnisse der 2. Auswertung

F_r : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

Messpunkt	1. Auswertung					2. Auswertung				
	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad
Pin-Tiefe	-53,033	1,042	2,085	12	11	-51,011	1,477	2,955	10	9

Tabelle 14: Auswertung der Pin-Tiefe mit Bestimmung des gewichteten Mittelwertes

Es bedeuten

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur 1. Auswertung

x_{ref} : Mittelwert aller Frequenzpunkte

$u(x_{ref})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte

Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der 2. Auswertung

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte

Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

Aus den obigen Berechnungen und den entsprechenden Auswertungen ergeben sich für die Teilnehmer folgende Grade der Äquivalenz (Formel 10) mit deren erweiterten Unsicherheiten (Formeln 11 und 12).

Teilnehmer	1		2		3		4		5		6	
Frequenz	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
Pin-Tiefe	-3,99	8,50	-4,99	4,21	20,01	15,29	2,61	6,78	2,01	18,77	-2,99	9,55

Teilnehmer	7		8		9		10		11		12	
Frequenz	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
Pin-Tiefe	1,01	9,55	1,01	9,55	0,21	9,55	24,01	49,91	0,71	4,87	-2,79	9,55

Tabelle 15: Auswertung des Grades der Äquivalenz des Betrages der Pin-Tiefe

Es bedeuten

D : Grad der Äquivalenz

U_D : Erweiterte Messunsicherheit des Grades der Äquivalenz ($k = 2$)

Hieraus ergeben sich die folgenden normalisierten Fehler E_N (Formeln 13 und 14)

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N
Pin-Tiefe	-0,47	-1,18	1,31	0,38	0,11	-0,31	0,11	0,11	0,02	0,48	0,15	-0,29

Tabelle 16: Auswertung des normalisierten Fehlers des Betrages der Pin-Tiefe

8.6.2 Auswertung der Pin-Tiefe des NRP-Z21

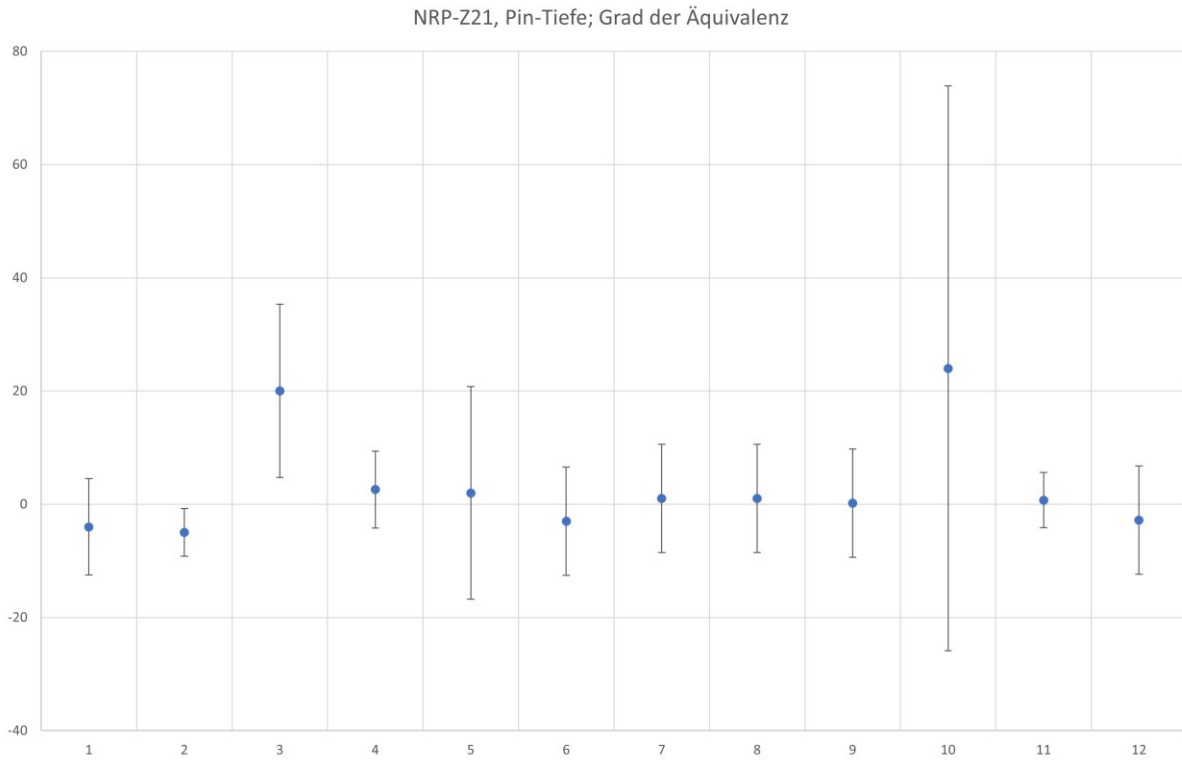


Abbildung 87: Grad der Äquivalenz der Pin-Tiefe des NRP-Z21

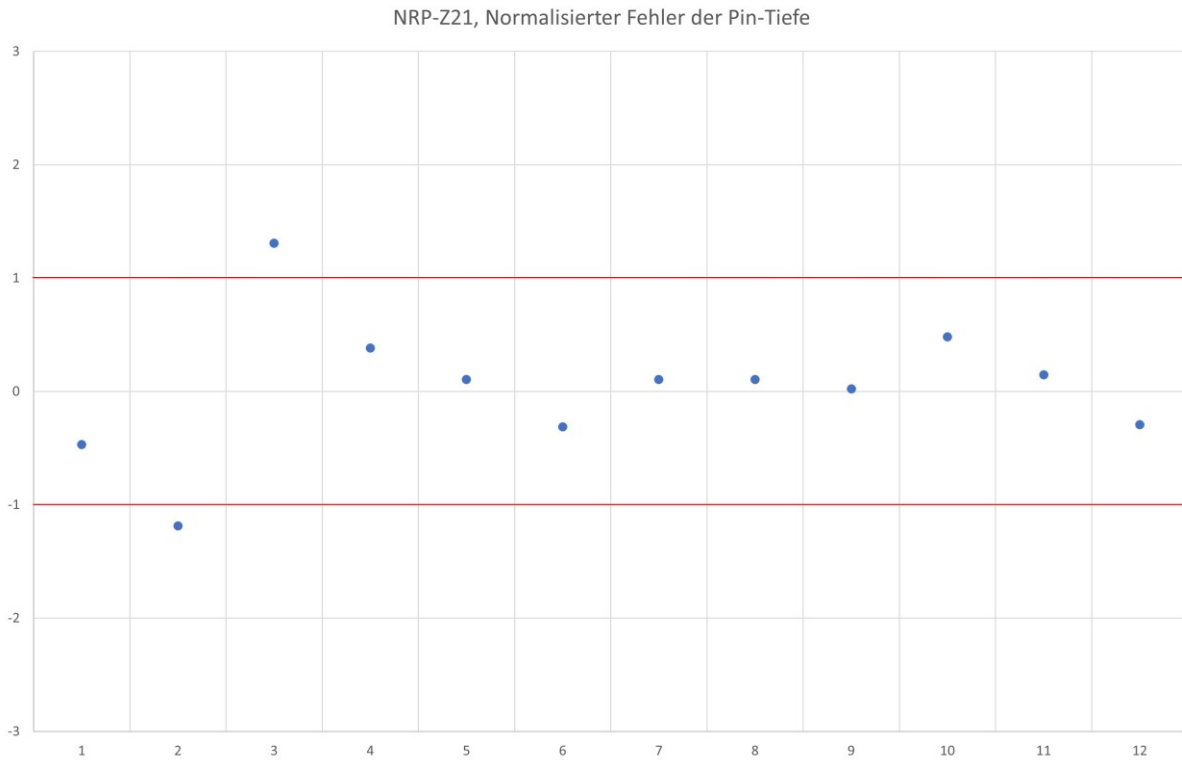


Abbildung 88: Normalisierter Fehler der Pin-Tiefe des NRP-Z21

8.7 Der Kalibrierungsfaktor des NRP-Z52

8.7.1 Auswertung der Messergebnisse des Kalibrierungsfaktors

Messpunkt	1. Auswertung				2. Auswertung				x_{CRV}	$u(x_{CRV})$	$U(x_{CRV})$
	N	F_N	$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$	Konsistenz	r	F_r	$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$	Konsistenz			
50 MHz	10	0,2	17	WAHR	10	0,2	17	WAHR	1,00063	0,00133	0,00266
1 GHz	10	0,4	17	WAHR	10	0,4	17	WAHR	1,00281	0,00146	0,00293
10 GHz	10	7,4	17	WAHR	10	7,4	17	WAHR	1,01256	0,00202	0,00404
18 GHz	9	4,0	16	WAHR	9	4,0	16	WAHR	1,01088	0,00242	0,00485
20 GHz	8	1,9	14	WAHR	8	1,9	14	WAHR	1,01785	0,00260	0,00520
24 GHz	8	1,2	14	WAHR	8	1,2	14	WAHR	1,01871	0,00262	0,00525
26,5 GHz	8	2,2	14	WAHR	8	2,2	14	WAHR	1,02089	0,00287	0,00573

Tabelle 17: Auswertung des Kalibrierungsfaktors und Prüfung der Konsistenzen

Es bedeutet:

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**

N : Anzahl der Ergebnisse der 1. Auswertung

F_N : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**

r : Anzahl der berücksichtigten Ergebnisse der 2. Auswertung

F_r : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

Messpunkt	1. Auswertung					2. Auswertung				
	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad
50 MHz	1,00063	0,00133	0,00266	10	9	1,00063	0,00133	0,00266	10	9
1 GHz	1,00281	0,00146	0,00293	10	9	1,00281	0,00146	0,00293	10	9
10 GHz	1,01256	0,00202	0,00404	10	9	1,01256	0,00202	0,00404	10	9
18 GHz	1,01088	0,00242	0,00485	9	8	1,01088	0,00242	0,00485	9	8
20 GHz	1,01785	0,00260	0,00520	8	7	1,01785	0,00260	0,00520	8	7
24 GHz	1,01871	0,00262	0,00525	8	7	1,01871	0,00262	0,00525	8	7
26,5 GHz	1,02089	0,00287	0,00573	8	7	1,02089	0,00287	0,00573	8	7

Tabelle 18: Auswertung des Kalibrierungsfaktors mit Bestimmung des gewichteten Mittelwertes

Es bedeuten

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur 1. Auswertung

x_{ref} : Mittelwert aller Frequenzpunkte

$u(x_{ref})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

- LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
 Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)
 2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der 2. Auswertung
 x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert
 $u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}
 $U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)
 LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
 Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

Aus den obigen Berechnungen und den entsprechenden Auswertungen ergeben sich für die Teilnehmer folgende Grade der Äquivalenz (Formel 10) mit deren erweiterten Unsicherheiten (Formeln 11 und 12).

Teilnehmer	1		2		3		4		5		6	
	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	-0,0018	0,0191	-0,0010	0,0069	0,0008	0,0470	-	-	0,0003	0,0065	0,0004	0,0096
1 GHz	-0,0025	0,0270	-0,0015	0,0068	0,0053	0,0655	-	-	0,0004	0,0085	0,0012	0,0096
10 GHz	-0,0031	0,0369	-0,0202	0,0155	0,0264	0,0986	-	-	0,0007	0,0080	0,0024	0,0124
18 GHz	-0,0066	0,0425	-0,0173	0,0204	-	-	-	-	-0,0007	0,0110	0,0031	0,0099
20 GHz	-0,0061	0,0425	-	-	-	-	-	-	0,0005	0,0108	0,0041	0,0097
24 GHz	-0,0032	0,0429	-	-	-	-	-	-	-0,0012	0,0108	0,0023	0,0097
26,5 GHz	-0,0031	0,0474	-	-	-	-	-	-	0,0000	0,0139	0,0051	0,0128

Teilnehmer	7		8		9		10		11		12	
	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	0,0006	0,0056	0,0001	0,0056	-0,0002	0,0063	-0,0006	0,0178	0,0004	0,0086	-0,21	0,00
1 GHz	0,0004	0,0055	0,0006	0,0056	-0,0005	0,0091	-0,0008	0,0208	-0,0004	0,0096	-0,10	0,00
10 GHz	0,0009	0,0080	0,0029	0,0080	-0,0006	0,0123	0,0004	0,0247	0,0016	0,0124	-0,07	0,00
18 GHz	-0,0017	0,0117	0,0033	0,0093	0,0023	0,0137	-0,0079	0,0306	-0,0002	0,0163	-0,06	0,00
20 GHz	-0,0052	0,0108	0,0022	0,0119	0,0011	0,0135	-0,0049	0,0295	-0,0050	0,0193	-0,06	0,01
24 GHz	-0,0042	0,0113	0,0037	0,0119	0,0017	0,0135	-0,0047	0,0316	-0,0028	0,0193	-0,07	0,01
26,5 GHz	-0,0053	0,0105	0,0037	0,0117	0,0016	0,0133	-0,0019	0,0325	-0,0084	0,0223	-0,05	0,01

Tabelle 19: Auswertung des Grades der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors

Es bedeuten

- D : Grad der Äquivalenz
 U_D : Erweiterte Messunsicherheit des Grades der Äquivalenz ($k = 2$)

Hieraus ergeben sich die folgenden normalisierten Fehler E_N (Formeln 13 und 14)

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N
50 MHz	-0,10	-0,15	0,02	-	0,04	0,04	0,10	0,01	-0,04	-0,04	0,04	-78,09
1 GHz	-0,09	-0,22	0,08	-	0,05	0,12	0,07	0,10	-0,06	-0,04	-0,04	-32,81
10 GHz	-0,08	-1,30	0,27	-	0,09	0,20	0,12	0,37	-0,05	0,02	0,13	-17,03
18 GHz	-0,15	-0,85	-	-	-0,06	0,32	-0,14	0,36	0,17	-0,26	-0,01	-11,77
20 GHz	-0,14	-	-	-	0,05	0,43	-0,48	0,19	0,08	-0,16	-0,26	-10,61
24 GHz	-0,07	-	-	-	-0,11	0,24	-0,37	0,31	0,12	-0,15	-0,15	-12,71
26,5 GHz	-0,07	-	-	-	0,00	0,40	-0,50	0,32	0,12	-0,06	-0,38	-8,73

Tabelle 20: Auswertung des normalisierten Fehlers des Kalibrierungsfaktors

8.7.2 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

NRP-Z52, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 50 MHz

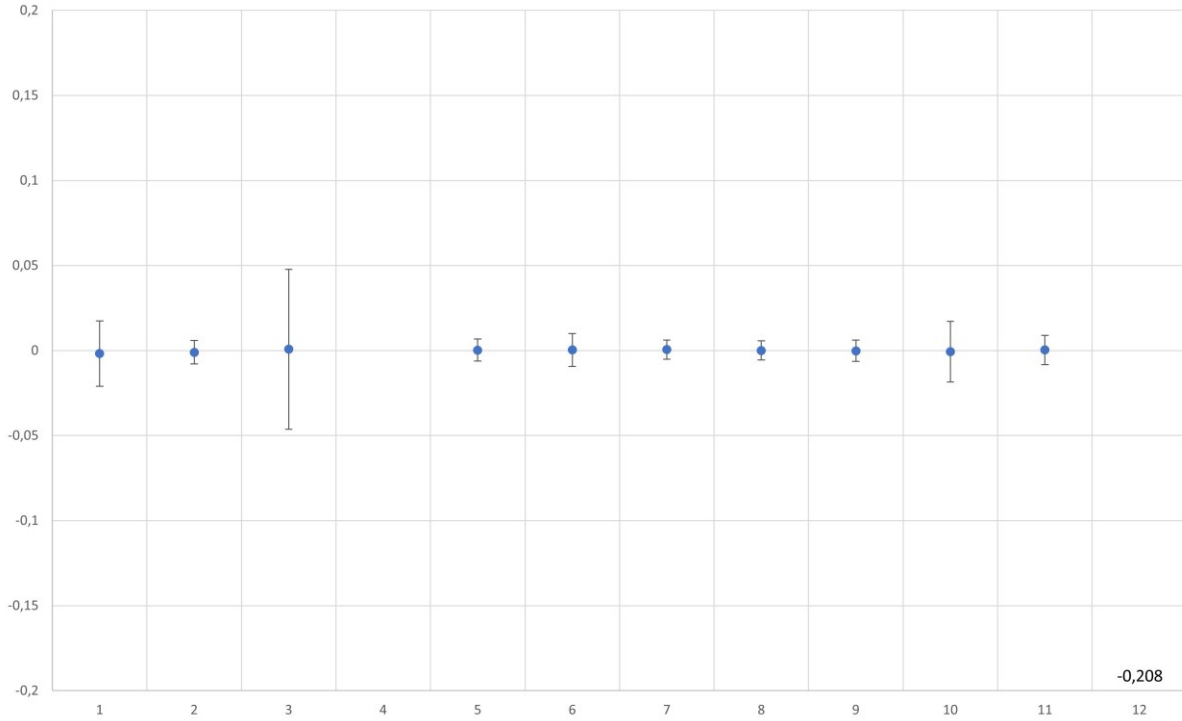


Abbildung 89: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 50 MHz

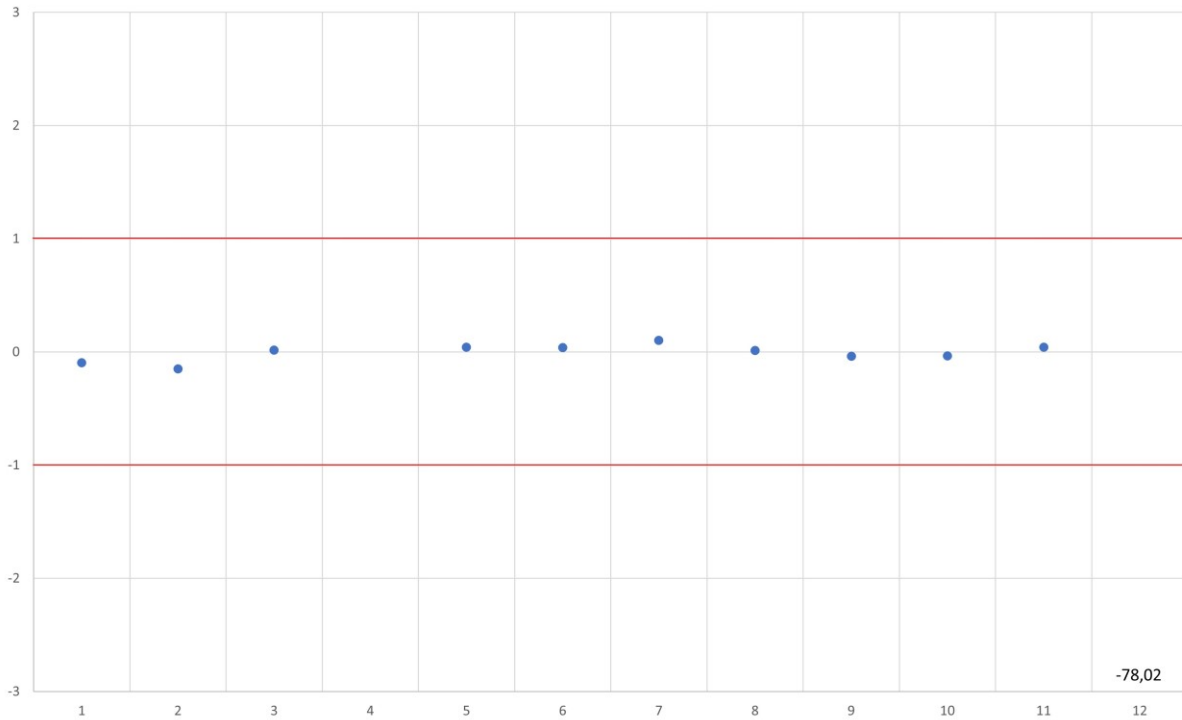


Abbildung 90: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

8.7.3 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

NRP-Z52, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 1 GHz

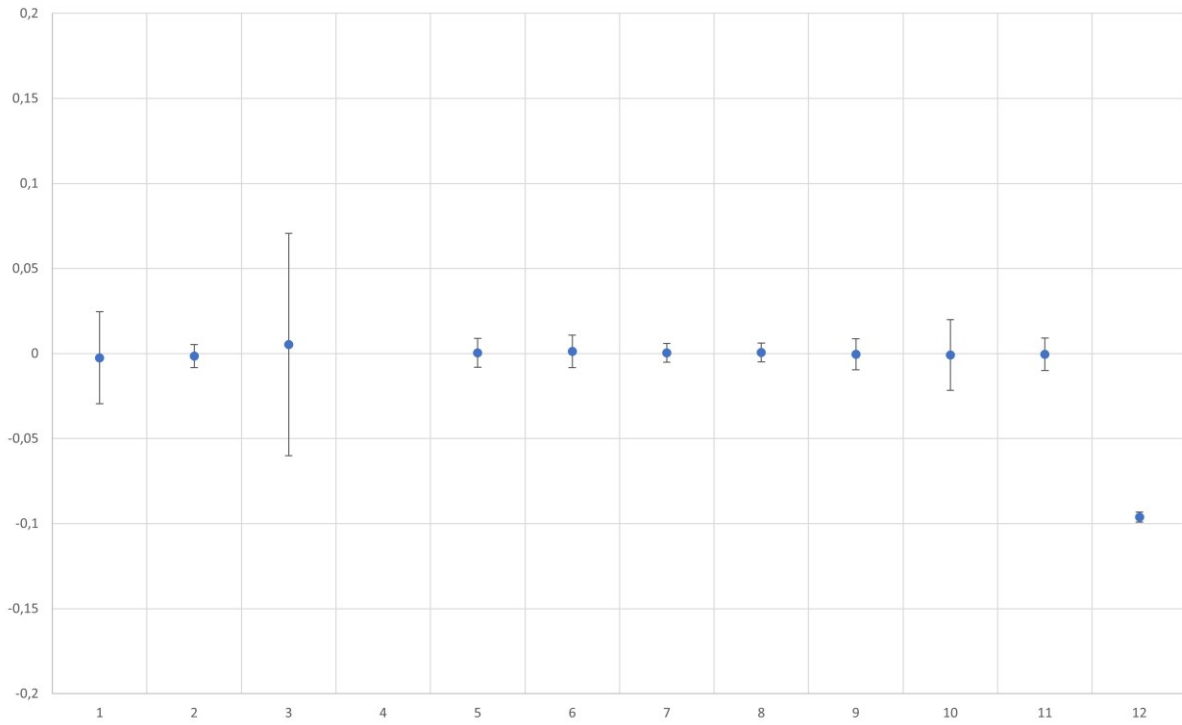


Abbildung 91: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 1 GHz

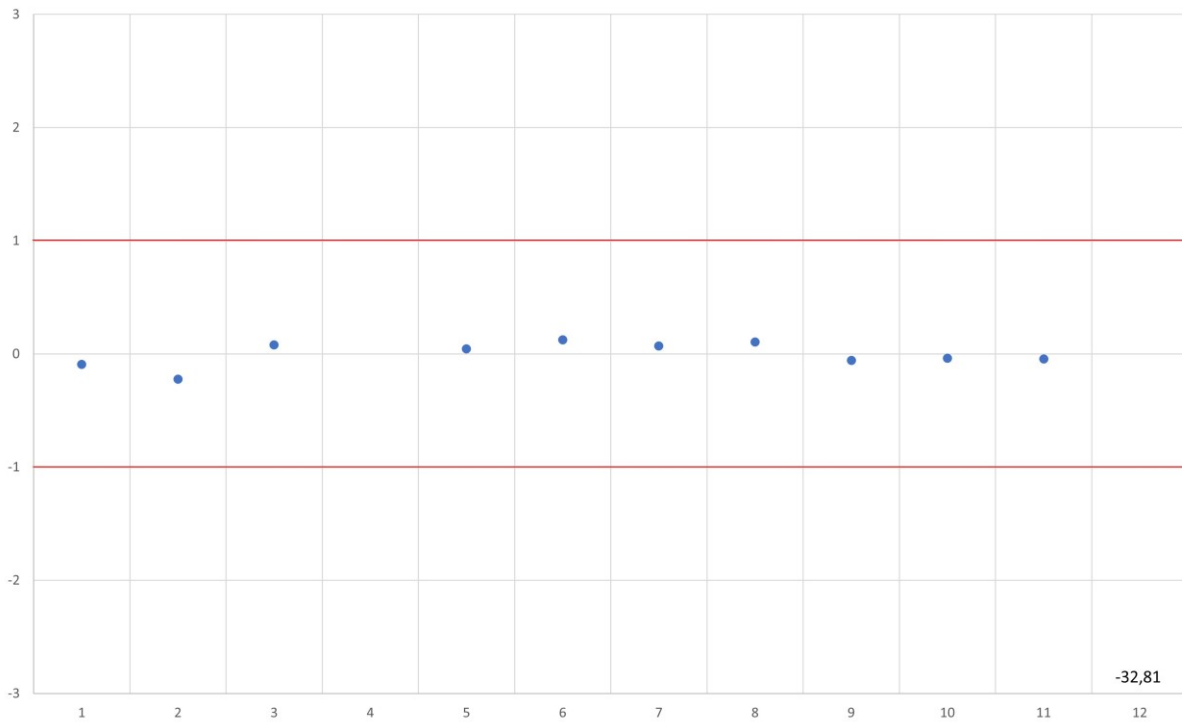


Abbildung 92: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

8.7.4 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

NRP-Z52, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 10 GHz

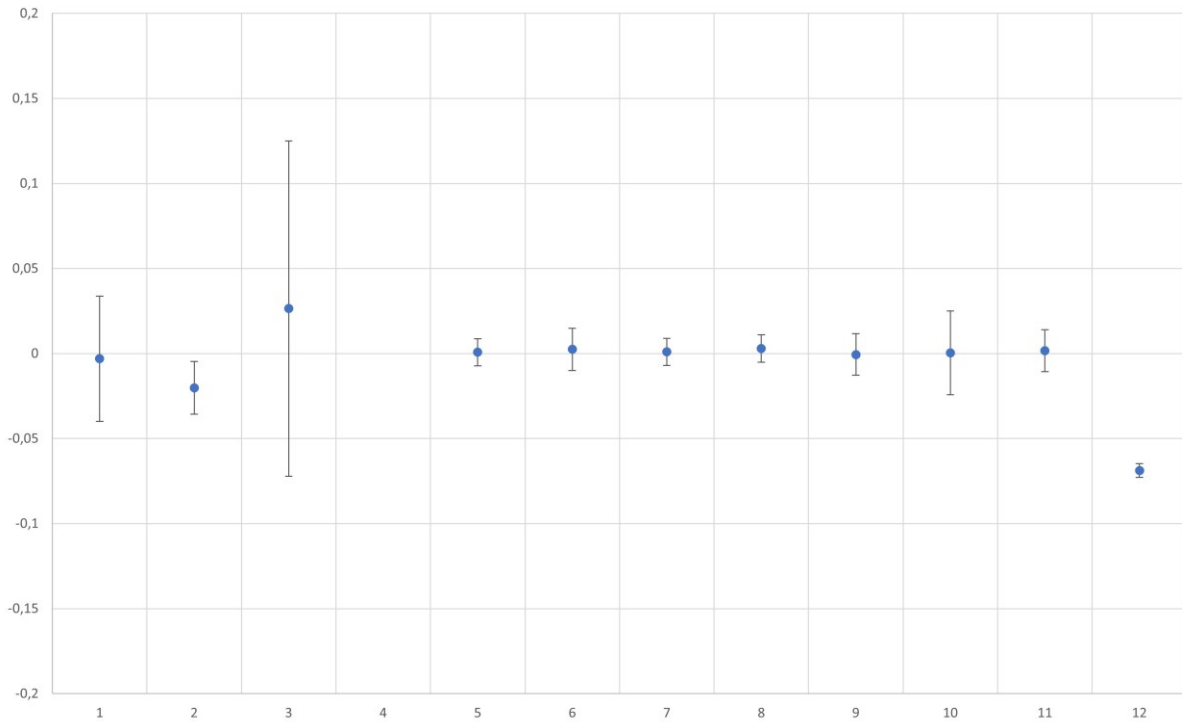


Abbildung 93: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 10 GHz

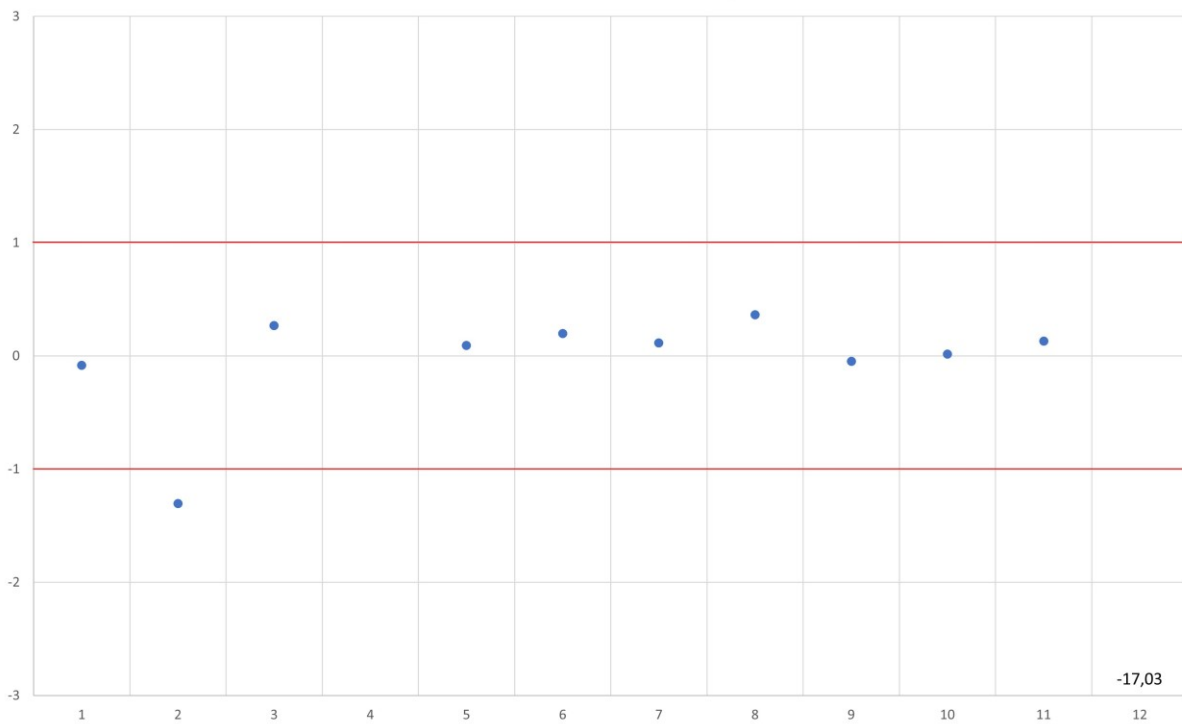


Abbildung 94: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

8.7.5 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

NRP-Z52, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 18 GHz

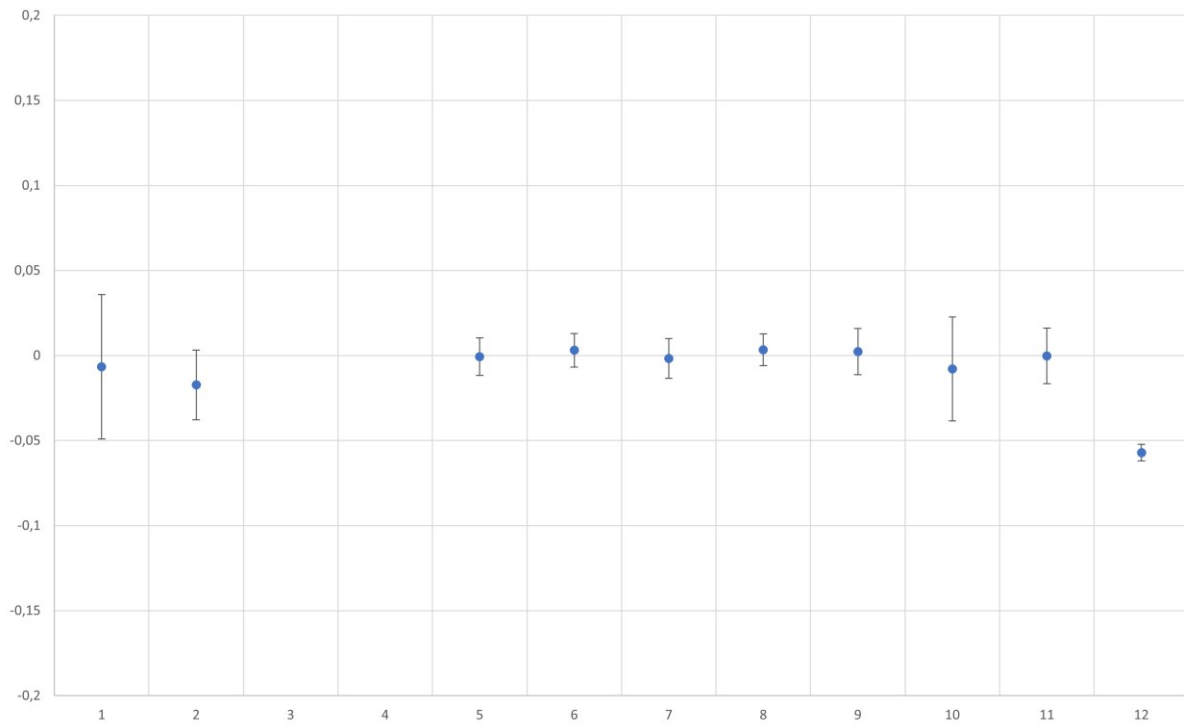


Abbildung 95: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 18 GHz

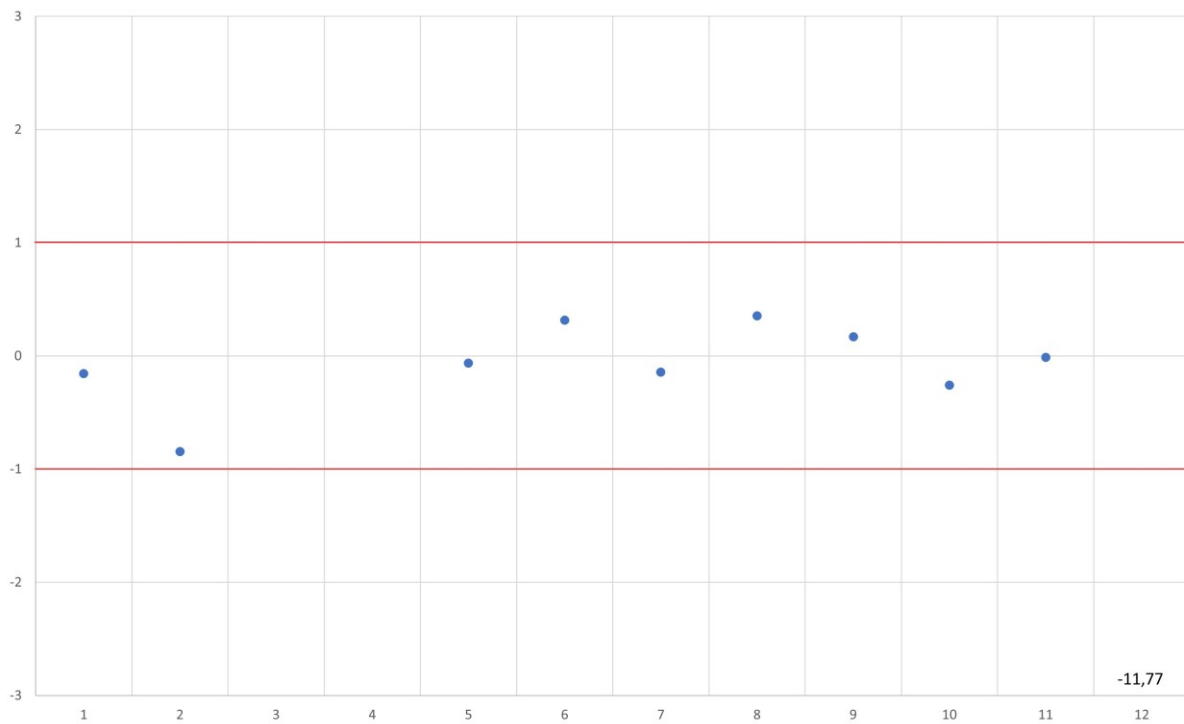


Abbildung 96: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

8.7.6 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

NRP-Z52, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 20 GHz

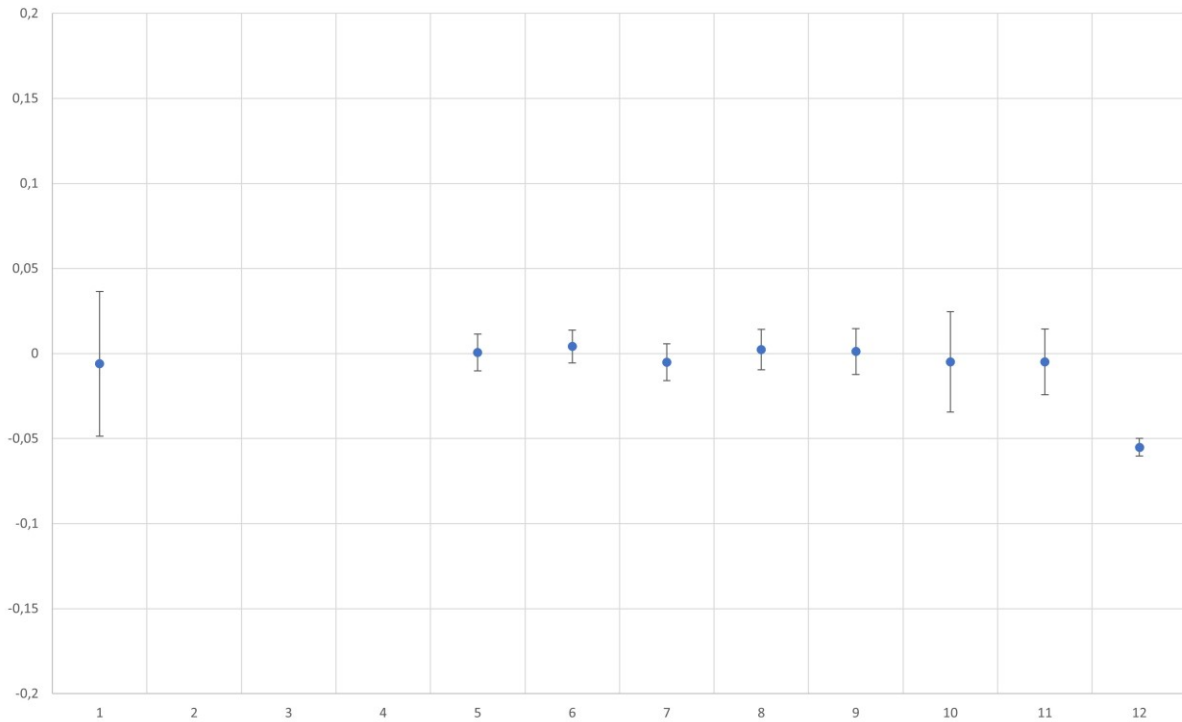


Abbildung 97: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 20 GHz

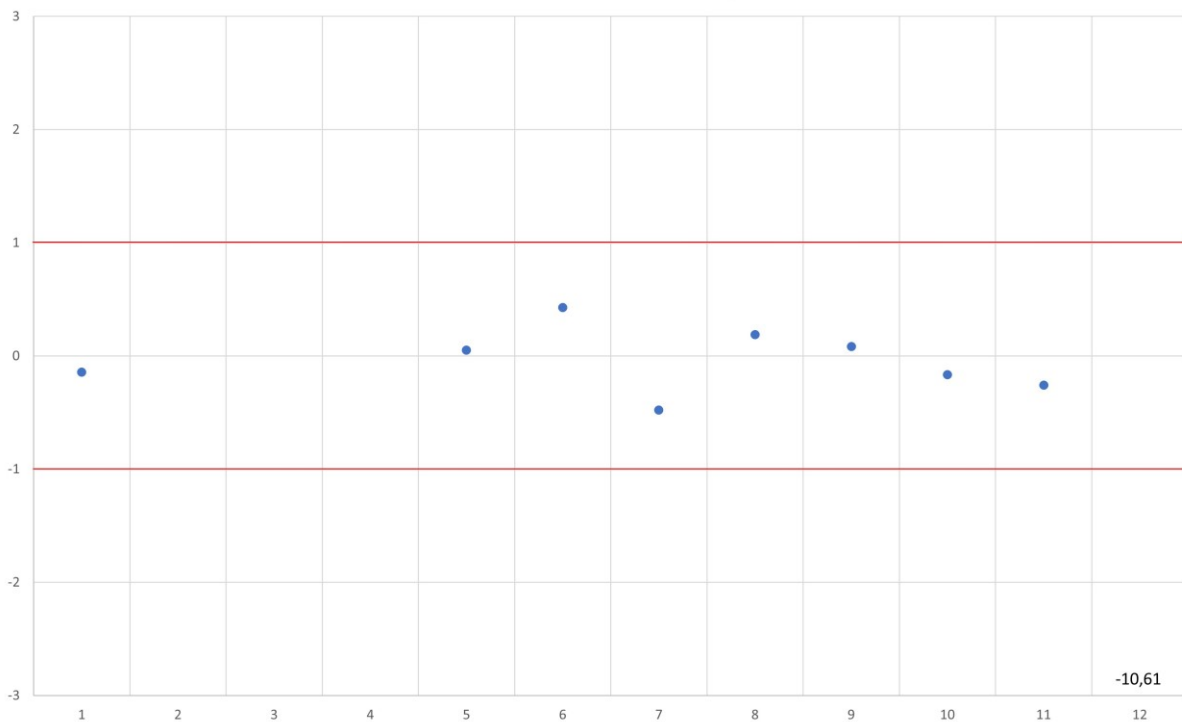


Abbildung 98: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

8.7.7 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

NRP-Z52, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 24 GHz

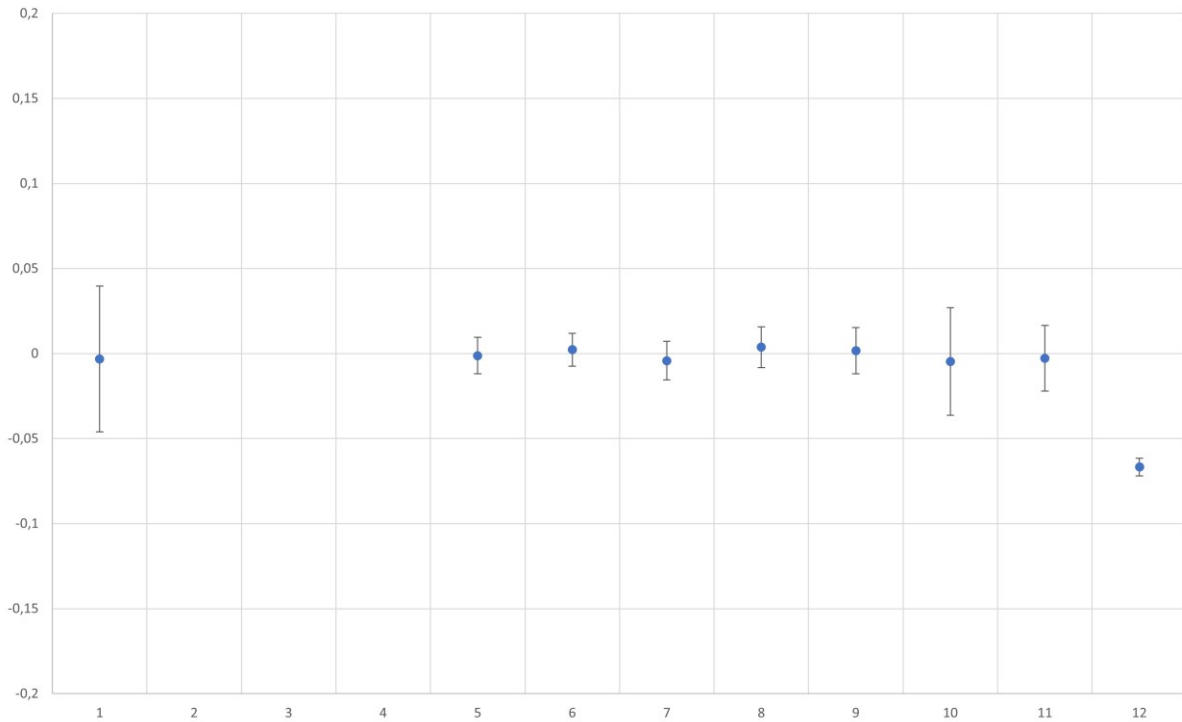


Abbildung 99: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 24 GHz

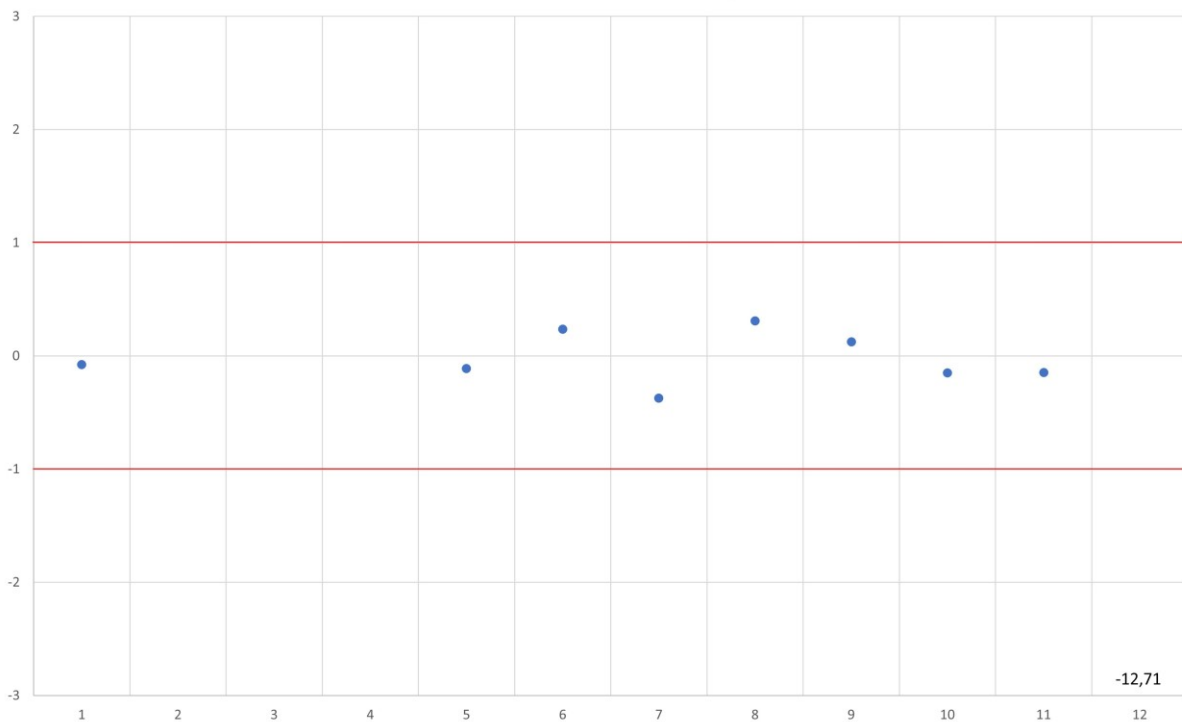


Abbildung 100: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

8.7.8 Auswertung des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

NRP-Z52, Kalibrierungsfaktor; Grad der Äquivalenz bei 26,5 GHz

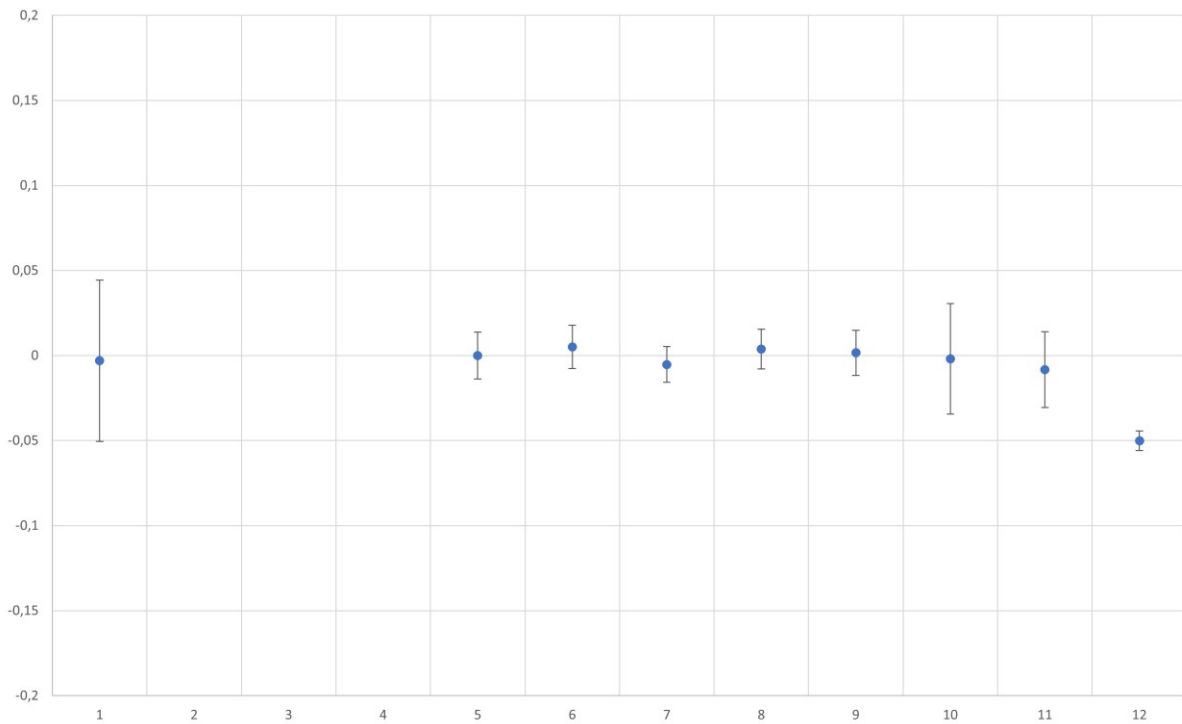


Abbildung 101: Grad der Äquivalenz des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors bei 26,5 GHz

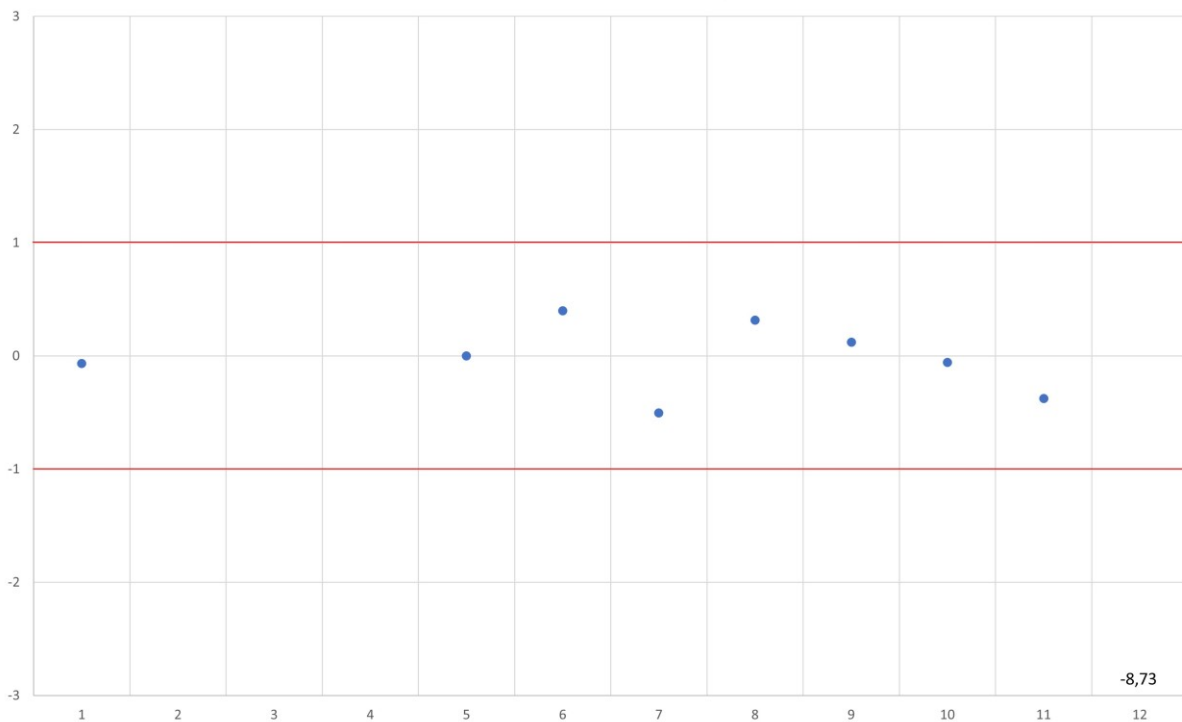


Abbildung 102: Normalisierter Fehler des Kalibrierungsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

8.8 Der Betrag des Reflexionsfaktors des NRP-Z52

8.8.1 Auswertung der Messergebnisse des Betrages des Reflexionsfaktors

Messpunkt	1. Auswertung				2. Auswertung						
	N	F_N	$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$	Konsistenz	r	F_r	$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$	Konsistenz	x_{CRV}	$u(x_{CRV})$	$U(x_{CRV})$
50 MHz	11	0,5	18	WAHR	11	0,5	18	WAHR	0,00272	0,00065	0,00130
1 GHz	12	2,8	20	WAHR	11	2,8	18	WAHR	0,01456	0,00066	0,00131
10 GHz	11	2,9	18	WAHR	10	2,8	17	WAHR	0,03827	0,00085	0,00170
18 GHz	10	1,2	17	WAHR	10	1,2	17	WAHR	0,02600	0,00115	0,00229
20 GHz	8	0,6	14	WAHR	9	0,8	16	WAHR	0,02974	0,00125	0,00249
24 GHz	9	1,5	16	WAHR	9	1,5	16	WAHR	0,00322	0,00127	0,00254
26,5 GHz	9	1,3	16	WAHR	9	1,3	16	WAHR	0,01939	0,00129	0,00259

Tabelle 21: Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors und Prüfung der Konsistenzen

Es bedeutet:

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**

N : Anzahl der Ergebnisse der 1. Auswertung

F_N : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**

r : Anzahl der berücksichtigten Ergebnisse der 2. Auswertung

F_r : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

Messpunkt	1. Auswertung					2. Auswertung				
	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad
50 MHz	0,00272	0,00065	0,00130	11	10	0,00272	0,00065	0,00130	11	10
1 GHz	0,01455	0,00064	0,00129	12	11	0,01456	0,00066	0,00131	11	10
10 GHz	0,03832	0,00083	0,00165	11	10	0,03827	0,00085	0,00170	10	9
18 GHz	0,02600	0,00115	0,00229	10	9	0,02600	0,00115	0,00229	10	9
20 GHz	0,02964	0,00127	0,00255	8	7	0,02974	0,00125	0,00249	9	8
24 GHz	0,00322	0,00127	0,00254	9	8	0,00322	0,00127	0,00254	9	8
26,5 GHz	0,01939	0,00129	0,00259	9	8	0,01939	0,00129	0,00259	9	8

Tabelle 22: Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors mit Bestimmung des gewichteten Mittelwertes

Es bedeuten

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur 1. Auswertung

x_{ref} : Mittelwert aller Frequenzpunkte

$u(x_{ref})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

- LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
- Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)
- 2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der 2. Auswertung
- x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert
- $u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}
- $U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)
- LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
- Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

Aus den obigen Berechnungen und den entsprechenden Auswertungen ergeben sich für die Teilnehmer folgende Grade der Äquivalenz (Formel 10) mit deren erweiterten Unsicherheiten (Formeln 11 und 12).

Teilnehmer	1		2		3		4		5		6	
Frequenz	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	0,0004	0,0119	0,0009	0,0055	0,0008	0,0094	-0,0001	0,0065	0,0002	0,0027	-0,0007	0,0079
1 GHz	-0,0001	0,0119	0,0032	0,0055	-0,0032	0,0094	-0,0003	0,0064	0,0003	0,0027	-0,0016	0,0079
10 GHz	0,0002	0,0139	0,0067	0,0108	-	-	0,0008	0,0067	0,0009	0,0036	-0,0003	0,0109
18 GHz	-0,0015	0,0138	0,0056	0,0139	-	-	-0,0009	0,0076	-0,0001	0,0044	-0,0020	0,0108
20 GHz	0,0013	0,0138	-	-	-	-	0,0023	0,0117	0,0007	0,0055	-0,0007	0,0107
24 GHz	0,0004	0,0138	-	-	-	-	0,0028	0,0117	-0,0008	0,0065	0,0048	0,0127
26,5 GHz	0,0005	0,0138	-	-	-	-	0,0016	0,0117	-0,0033	0,0076	0,0036	0,0127

Teilnehmer	7		8		9		10		11		12	
Frequenz	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	-0,0001	0,0027	0,0000	0,0027	0,0003	0,0048	-0,0017	0,0059	0,0001	0,0028	0,00	0,00
1 GHz	-0,0003	0,0027	-0,0002	0,0027	0,0004	0,0059	-0,0026	0,0059	0,0003	0,0028	0,00	0,00
10 GHz	0,0005	0,0036	-0,0015	0,0036	0,0017	0,0109	-0,0013	0,0109	-0,0008	0,0027	0,03	0,00
18 GHz	-0,0005	0,0066	0,0009	0,0066	0,0020	0,0097	0,0010	0,0108	-0,0004	0,0035	0,01	0,00
20 GHz	0,0011	0,0065	-0,0013	0,0065	0,0023	0,0117	-0,0017	0,0107	-0,0005	0,0034	0,04	0,00
24 GHz	-0,0009	0,0065	0,0004	0,0065	0,0038	0,0107	-0,0012	0,0107	-0,0007	0,0032	0,10	0,00
26,5 GHz	-0,0012	0,0065	0,0010	0,0065	0,0016	0,0117	-0,0004	0,0107	0,0002	0,0032	0,05	0,00

Tabelle 23: Auswertung des Grades der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors

Es bedeuten

- D : Grad der Äquivalenz
- U_D : Erweiterte Messunsicherheit des Grades der Äquivalenz ($k = 2$)

Hieraus ergeben sich die folgenden normalisierten Fehler E_N (Formeln 13 und 14)

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frequenz	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N
50 MHz	0,03	0,16	0,08	-0,02	0,07	-0,09	-0,04	-0,01	0,06	-0,29	0,03	1,81
1 GHz	-0,01	0,58	-0,34	-0,04	0,13	-0,20	-0,10	-0,06	0,07	-0,44	0,12	2,01
10 GHz	0,01	0,62	-	0,12	0,26	-0,03	0,15	-0,41	0,16	-0,12	-0,29	15,14
18 GHz	-0,11	0,40	-	-0,12	-0,02	-0,19	-0,07	0,14	0,21	0,09	-0,11	4,20
20 GHz	0,10	-	-	0,19	0,12	-0,07	0,16	-0,20	0,19	-0,16	-0,16	14,82
24 GHz	0,03	-	-	0,24	-0,13	0,37	-0,14	0,06	0,35	-0,11	-0,22	37,69
26,5 GHz	0,03	-	-	0,14	-0,43	0,28	-0,18	0,15	0,14	-0,04	0,07	20,52

Tabelle 24: Auswertung des normalisierten Fehlers des Betrages des Reflexionsfaktors

8.8.2 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

NRP-Z52, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 50 MHz

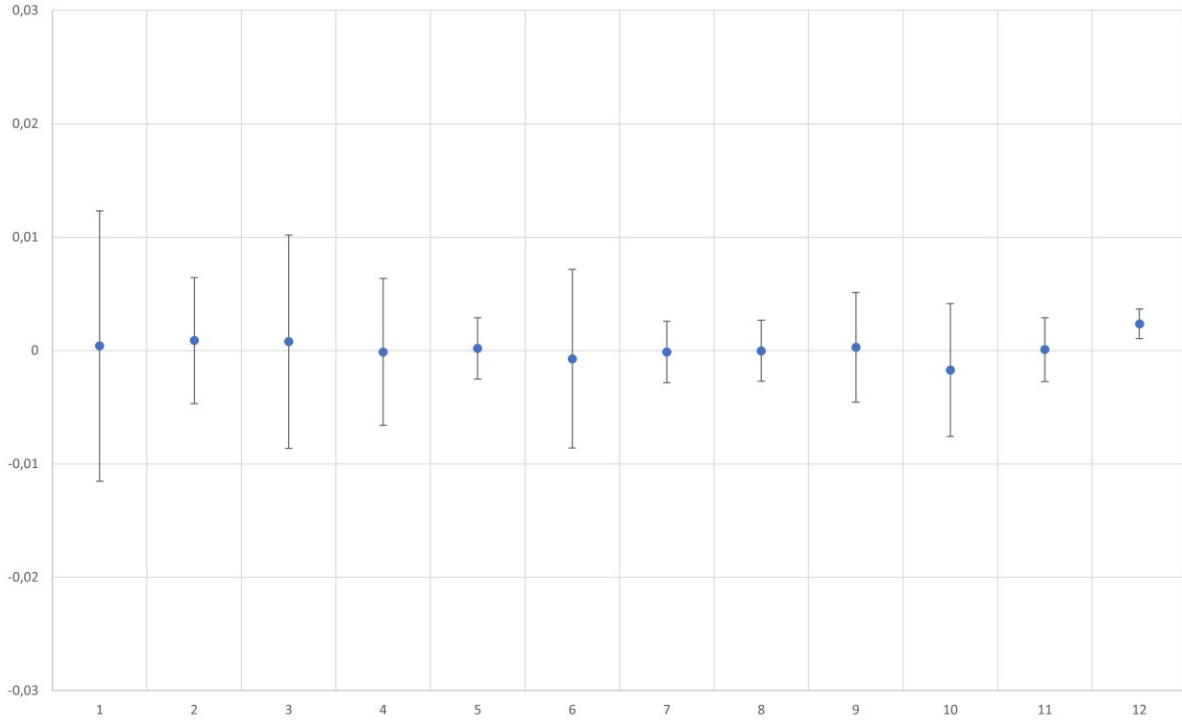


Abbildung 103: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 50 MHz

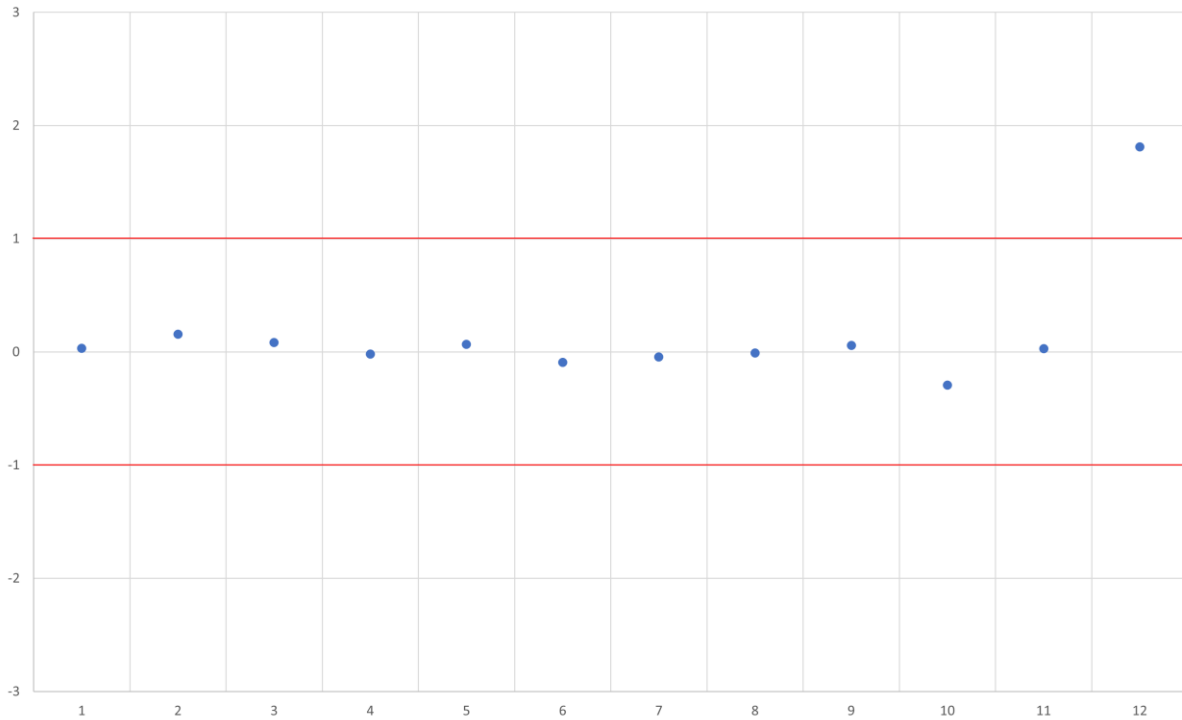


Abbildung 104: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

8.8.3 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

NRP-Z52, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 1 GHz

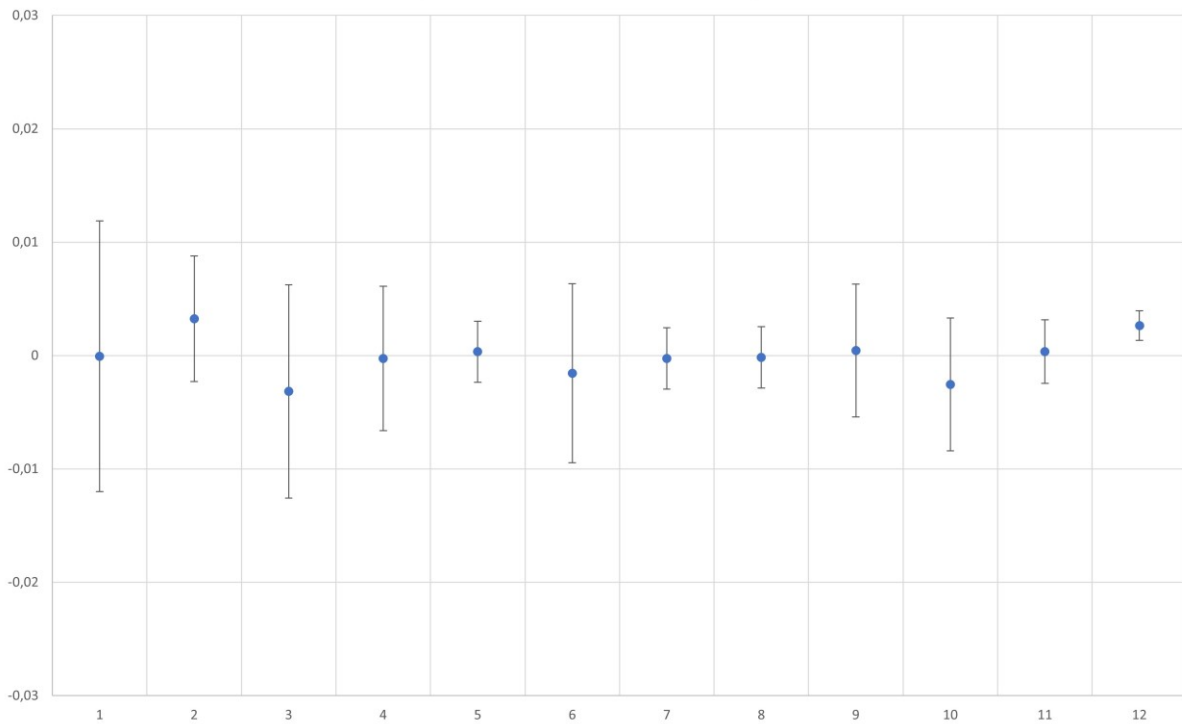


Abbildung 105: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 1 GHz

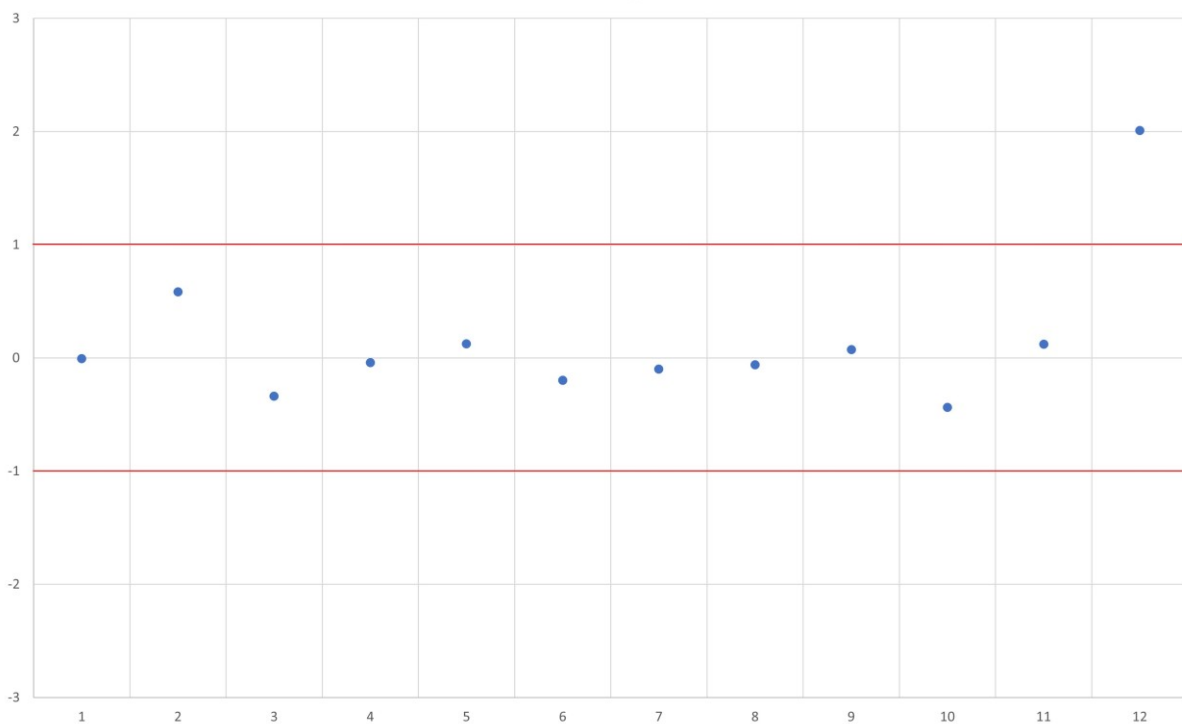


Abbildung 106: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

8.8.4 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

NRP-Z52, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 10 GHz

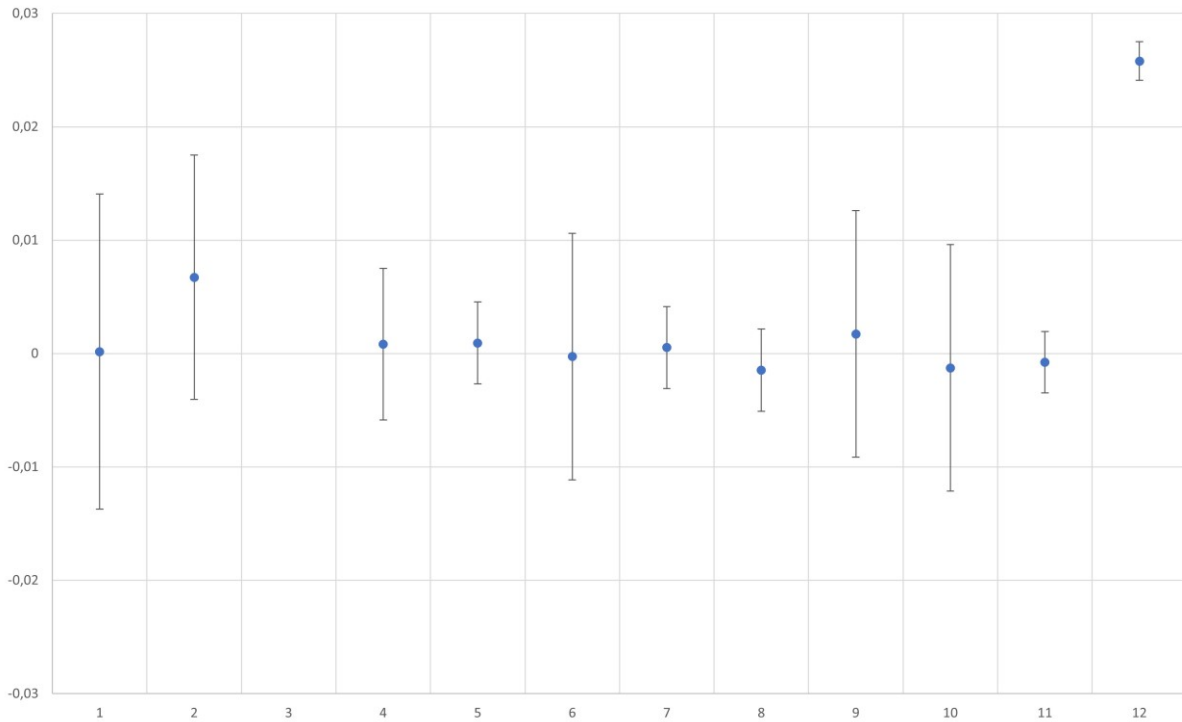


Abbildung 107: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 10 GHz

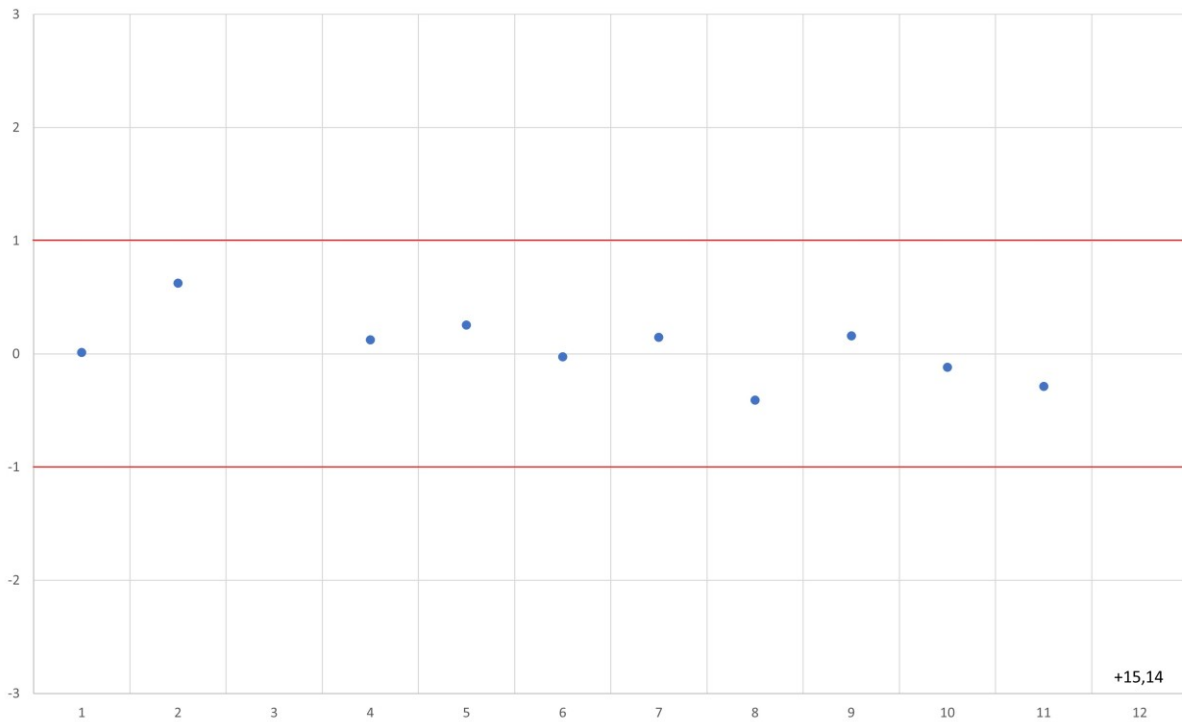


Abbildung 108: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

8.8.5 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

NRP-Z52, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 18 GHz

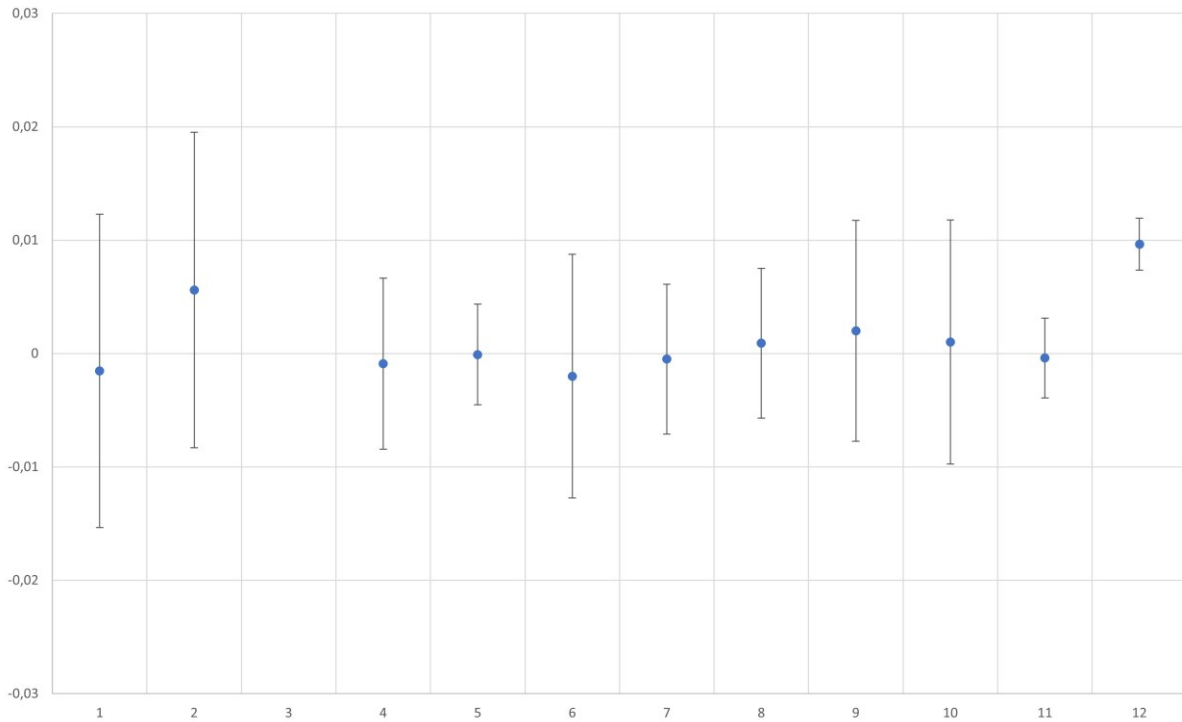


Abbildung 109: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 18 GHz

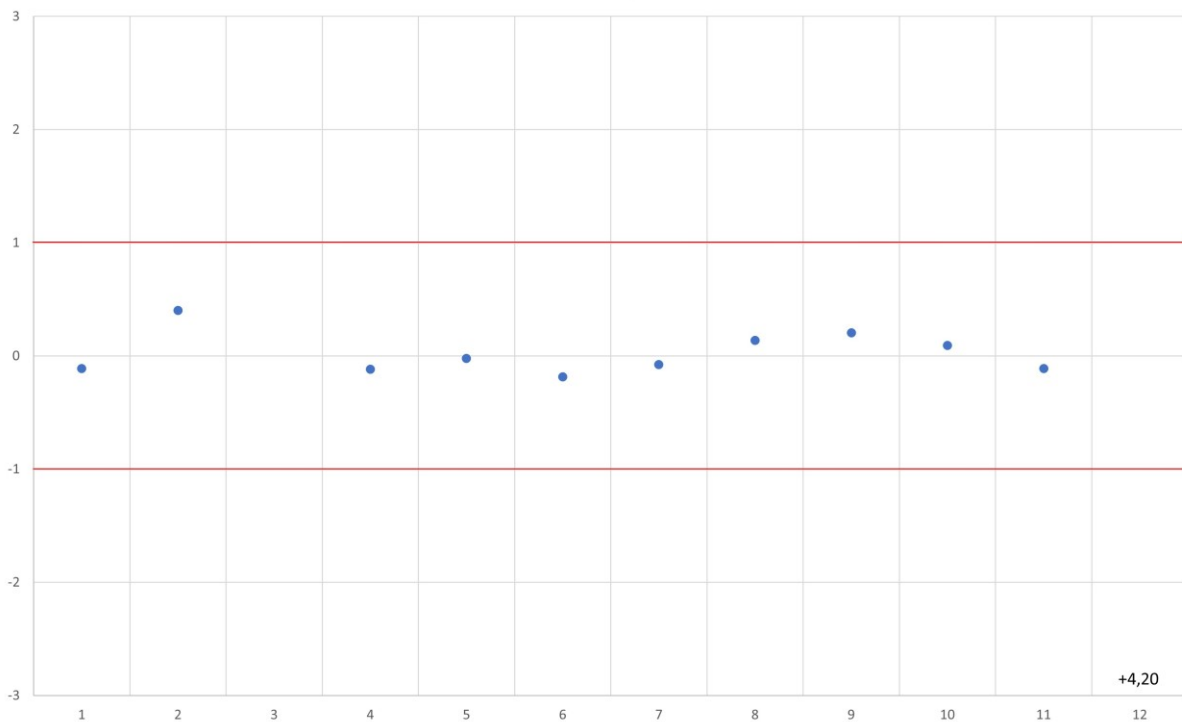


Abbildung 110: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

8.8.6 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

NRP-Z52, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 20 GHz

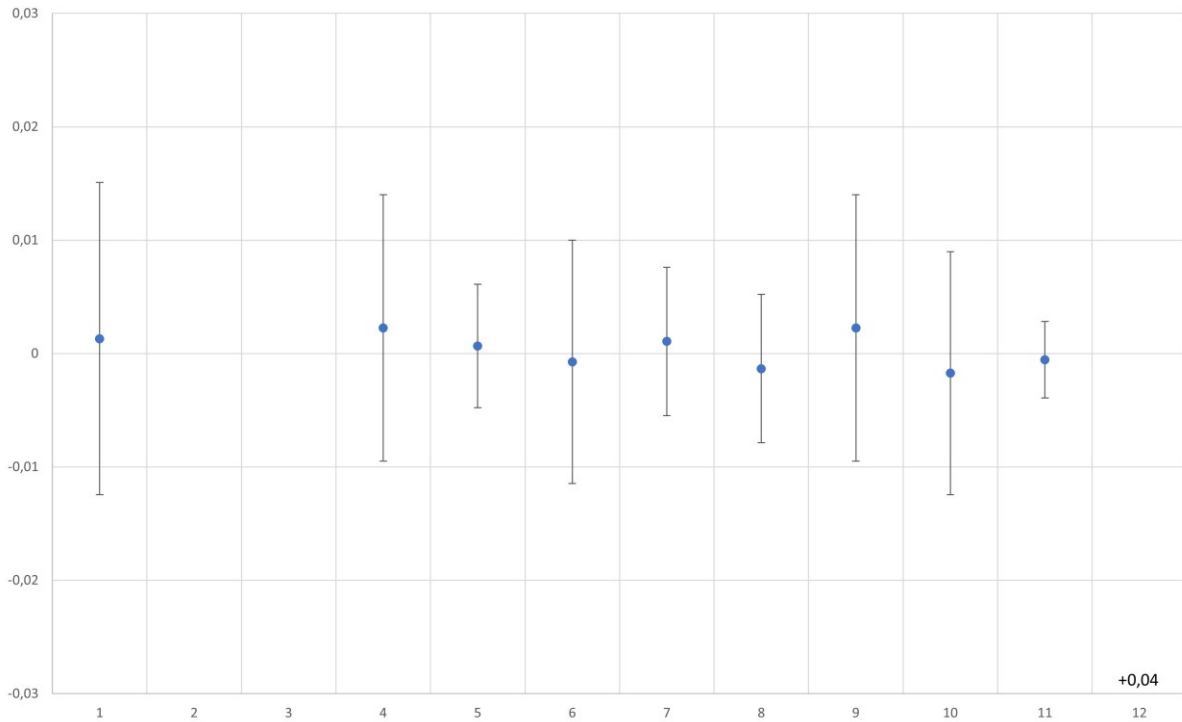


Abbildung 111: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 20 GHz

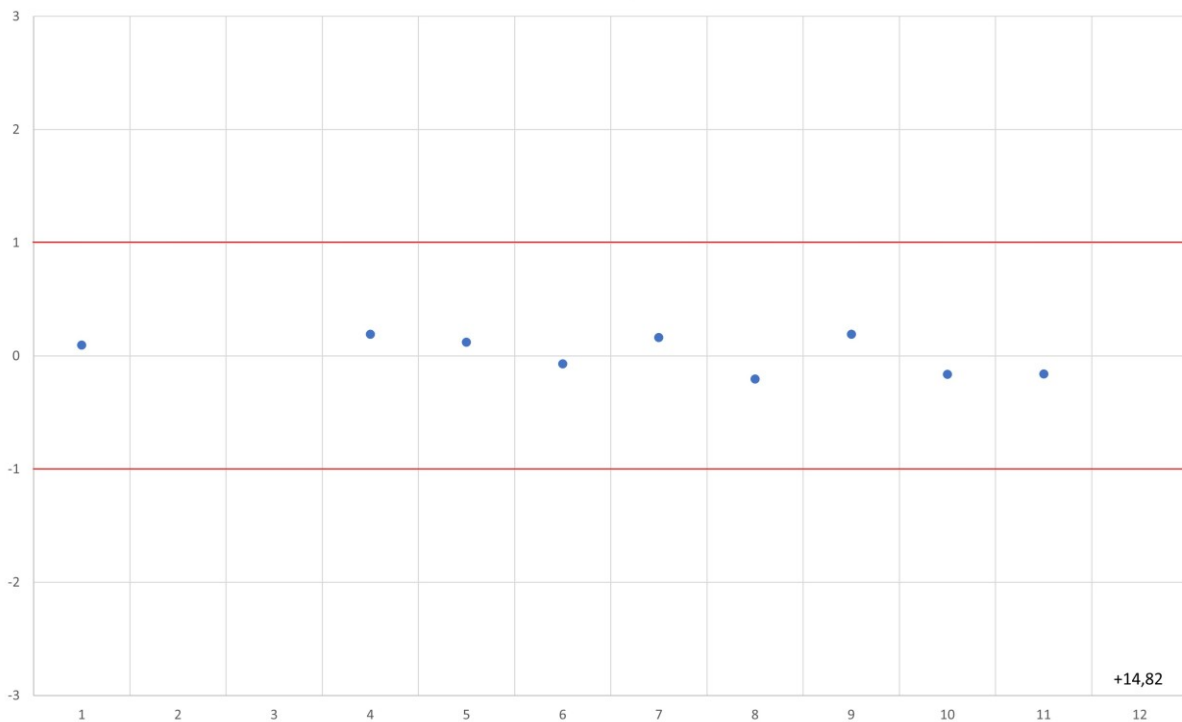


Abbildung 112: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

8.8.7 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

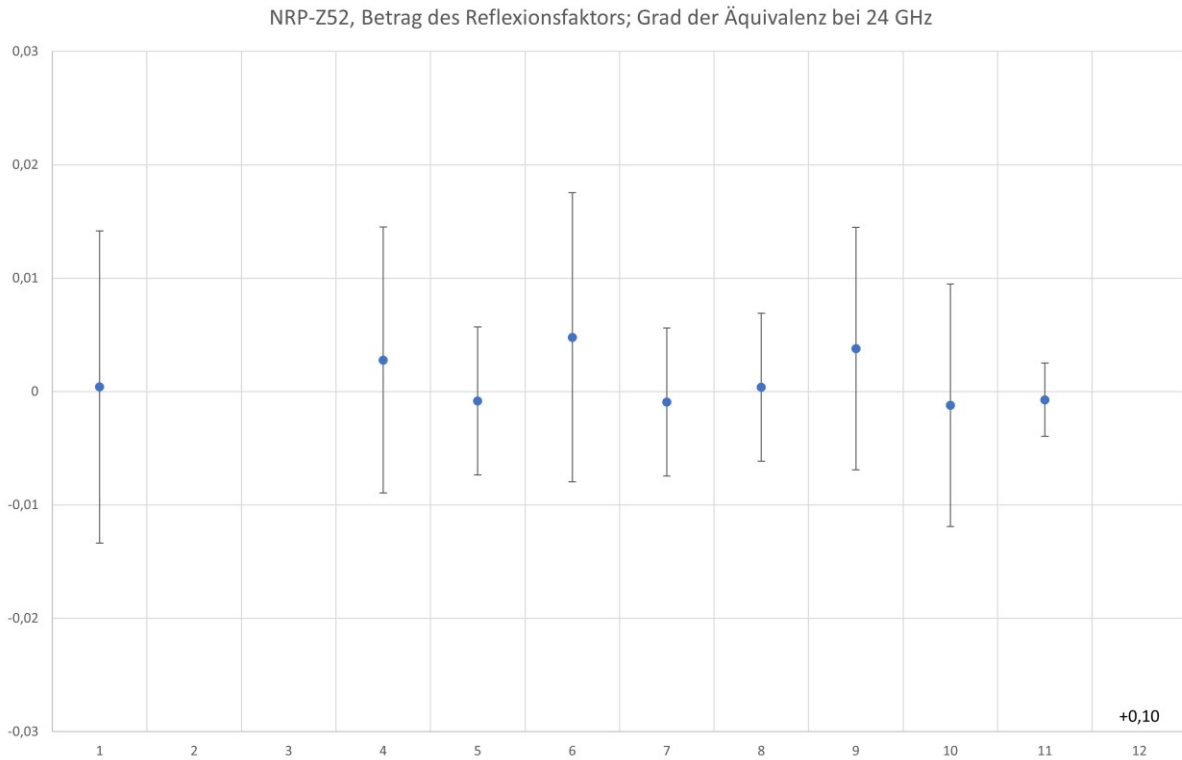


Abbildung 113: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

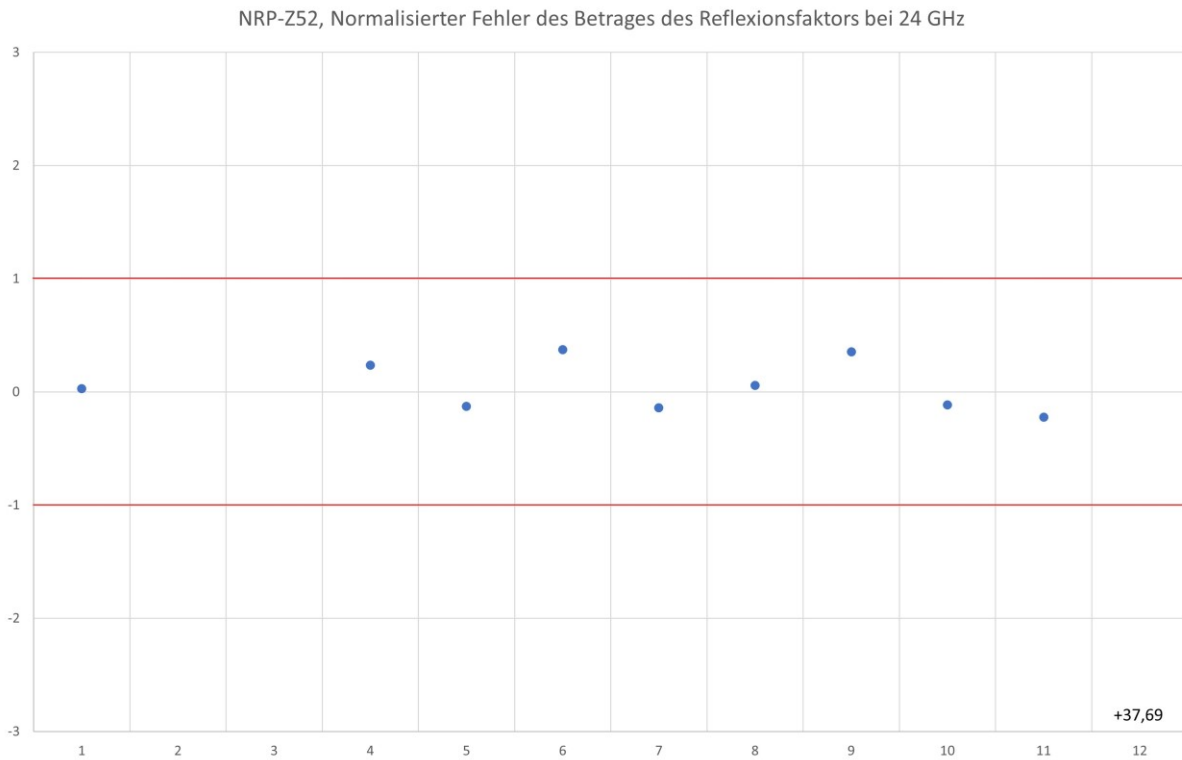


Abbildung 114: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

8.8.8 Auswertung des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

NRP-Z52, Betrag des Reflexionsfaktors; Grad der Äquivalenz bei 26,5 GHz

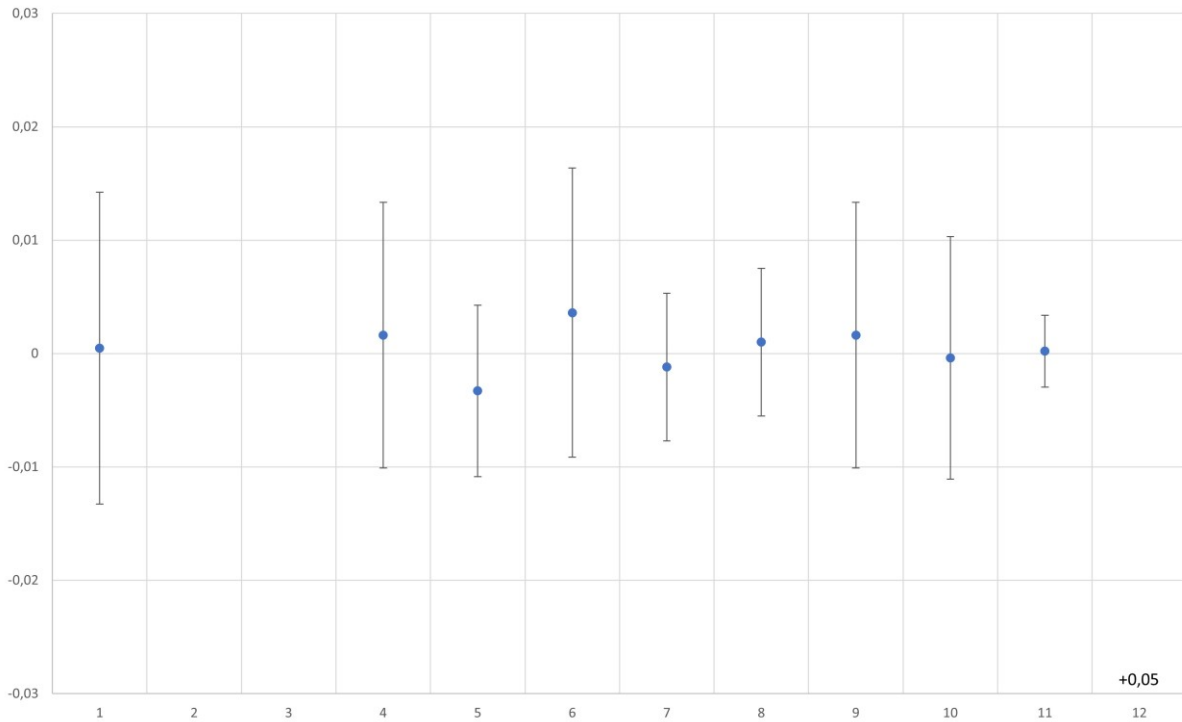


Abbildung 115: Grad der Äquivalenz des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors bei 26,5 GHz

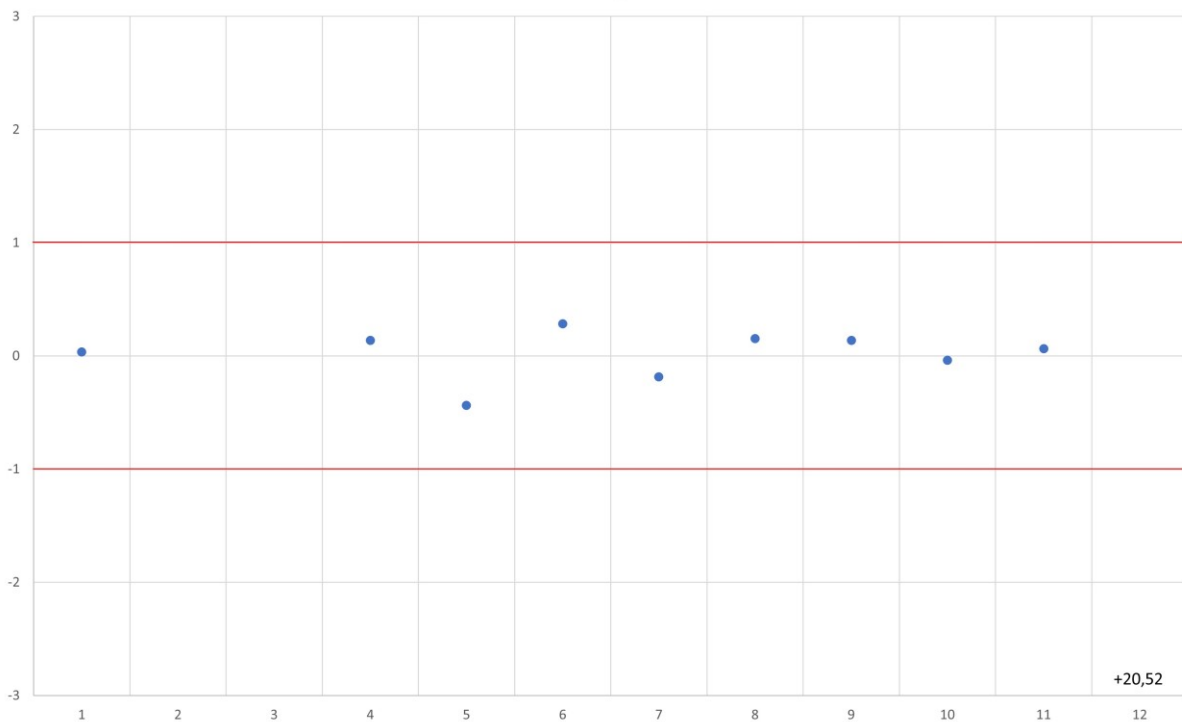


Abbildung 116: Normalisierter Fehler des Betrages des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

8.9 Die Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52

8.9.1 Auswertung der Messergebnisse der Phase des Reflexionsfaktors

Messpunkt	1. Auswertung				2. Auswertung				x_{CRV}	$u(x_{CRV})$	$U(x_{CRV})$
	N	F_N	$\chi^2_{(N-1;0,05)}$	Konsistenz	r	F_r	$\chi^2_{(r-1;0,05)}$	Konsistenz			
50 MHz	10	2,3	17	WAHR	10	2,3	17	WAHR	11,002	11,971	23,942
1 GHz	10	0,8	17	WAHR	10	0,8	17	WAHR	0,597	2,176	4,353
10 GHz	10	7,6	17	WAHR	9	0,1	16	WAHR	96,683	1,251	2,501
18 GHz	10	2,1	17	WAHR	10	2,1	17	WAHR	-87,545	2,361	4,721
20 GHz	9	1,1	16	WAHR	9	1,1	16	WAHR	115,177	2,221	4,442
24 GHz	9	4,1	16	WAHR	9	4,1	16	WAHR	34,072	4,778	9,555
26,5 GHz	9	24,1	16	FALSCH	8	1,8	14	WAHR	8,511	3,149	6,298

Tabelle 25: Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors und Prüfung der Konsistenzen

Es bedeutet:

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**

N : Anzahl der Ergebnisse der 1. Auswertung

F_N : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(N-1;0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**

r : Anzahl der berücksichtigten Ergebnisse der 2. Auswertung

F_r : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(r-1;0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

Messpunkt	1. Auswertung					2. Auswertung				
	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad
50 MHz	11,00	11,97	23,94	10	9	11,00	11,97	23,94	10	9
1 GHz	0,60	2,18	4,35	10	9	0,60	2,18	4,35	10	9
10 GHz	96,56	1,25	2,50	10	9	96,68	1,25	2,50	9	8
18 GHz	-87,54	2,36	4,72	10	9	-87,54	2,36	4,72	10	9
20 GHz	115,18	2,22	4,44	9	8	115,18	2,22	4,44	9	8
24 GHz	34,07	4,78	9,56	9	8	34,07	4,78	9,56	9	8
26,5 GHz	12,98	3,00	6,01	9	8	8,51	3,15	6,30	8	7

Tabelle 26: Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors mit Bestimmung des gewichteten Mittelwertes

Es bedeuten

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur 1. Auswertung

x_{ref} : Mittelwert aller Frequenzpunkte

$u(x_{ref})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte

Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der 2. Auswertung
 x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert
 $u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}
 $U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)
LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte
Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

Aus den obigen Berechnungen und den entsprechenden Auswertungen ergeben sich für die Teilnehmer folgende Grade der Äquivalenz (Formel 10) mit deren erweiterten Unsicherheiten (Formeln 11 und 12).

Teilnehmer	1		2		3		4		5		6	
	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	12,48	178,40	-19,20	26,62	-	-	9,00	178,40	14,49	32,04	17,00	178,40
1 GHz	-2,47	9,00	-3,00	13,31	-	-	-0,60	27,66	0,21	7,88	0,40	79,88
10 GHz	0,11	9,68	-98,58	72,14	-	-	0,32	10,71	-0,15	4,33	-0,68	39,92
18 GHz	-0,64	8,82	84,34	135,02	-	-	-2,46	18,40	-1,02	9,94	-2,46	39,72
20 GHz	-1,38	8,96	-	-	-	-	0,82	21,55	0,45	10,06	3,82	19,50
24 GHz	1,07	2,95	-	-	-	-	65,93	179,75	77,40	139,67	-25,07	38,84
26,5 GHz	0,82	7,77	-	-	-	-	11,49	33,41	6,76	21,08	49,49	20,97

Teilnehmer	7		8		9		10		11		12	
	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
50 MHz	14,70	178,40	14,30	178,40	13,20	178,40	55,50	178,40	14,00	86,86	-29,92	23,94
1 GHz	2,60	11,29	1,80	11,29	0,90	21,57	2,90	29,68	0,40	11,08	167,73	4,35
10 GHz	0,42	5,34	0,32	5,67	-2,18	15,09	0,72	16,81	-0,28	4,44	-32,31	2,50
18 GHz	-1,96	15,18	0,04	14,34	-2,06	20,36	0,24	22,51	2,84	8,47	-31,98	4,72
20 GHz	2,82	12,43	0,32	13,59	6,22	22,26	1,42	21,55	-2,58	7,48	-21,04	4,44
24 GHz	32,03	179,75	-33,17	179,75	28,23	179,75	-52,17	179,75	-1,77	90,09	128,91	9,56
26,5 GHz	-0,01	21,81	-7,41	18,98	-7,21	33,31	-7,61	33,41	-0,11	11,14	46,25	6,30

Tabelle 27: Auswertung des Grades der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors

Es bedeuten

- D : Grad der Äquivalenz
 U_D : Erweiterte Messunsicherheit des Grades der Äquivalenz ($k = 2$)

Hieraus ergeben sich die folgenden normalisierten Fehler E_N (Formeln 13 und 14)

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N
50 MHz	0,07	-0,72	-	0,05	0,45	0,10	0,08	0,08	0,07	0,31	0,16	-1,25
1 GHz	-0,27	-0,23	-	-0,02	0,03	0,01	0,23	0,16	0,04	0,10	0,04	38,53
10 GHz	0,01	-1,37	-	0,03	-0,03	-0,02	0,08	0,06	-0,14	0,04	-0,06	-12,92
18 GHz	-0,07	0,62	-	-0,13	-0,10	-0,06	-0,13	0,00	-0,10	0,01	0,34	-6,77
20 GHz	-0,15	-	-	0,04	0,04	0,20	0,23	0,02	0,28	0,07	-0,34	-4,74
24 GHz	0,36	-	-	0,37	0,55	-0,65	0,18	-0,18	0,16	-0,29	-0,02	13,49
26,5 GHz	0,11	-	-	0,34	0,32	2,36	0,00	-0,39	-0,22	-0,23	-0,01	7,34

Tabelle 28: Auswertung des normalisierten Fehlers der Phase des Reflexionsfaktors

8.9.2 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

NRP-Z52, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 50 MHz

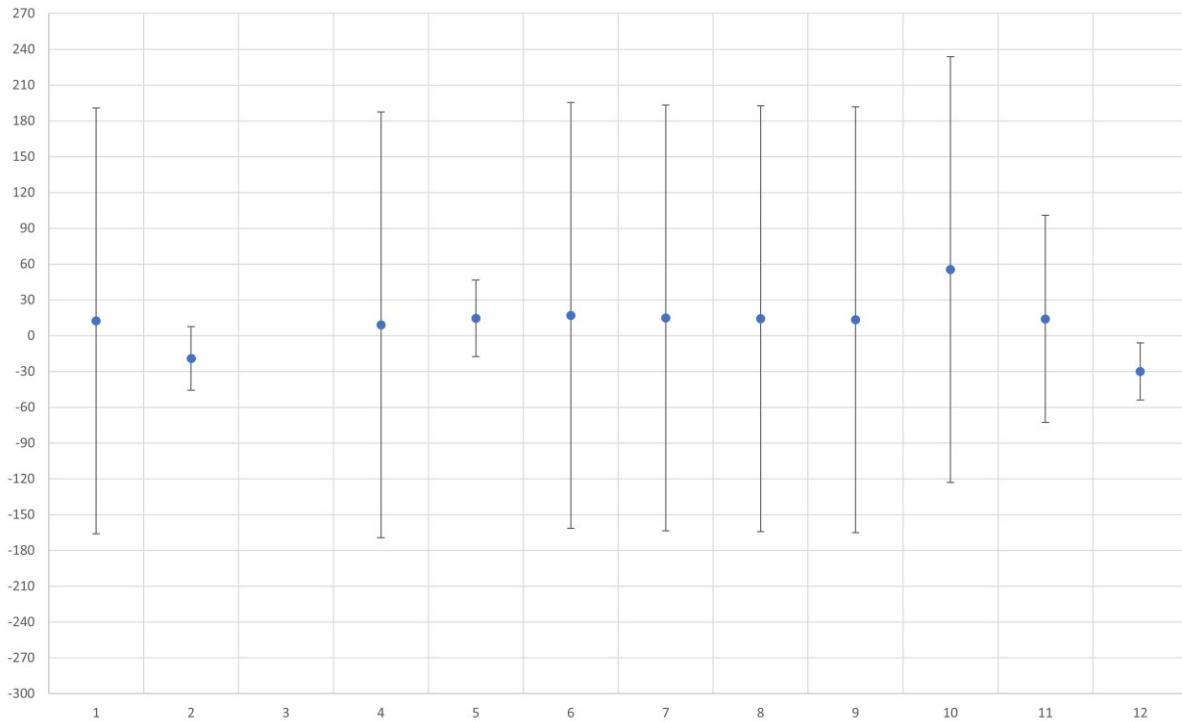


Abbildung 117: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 50 MHz

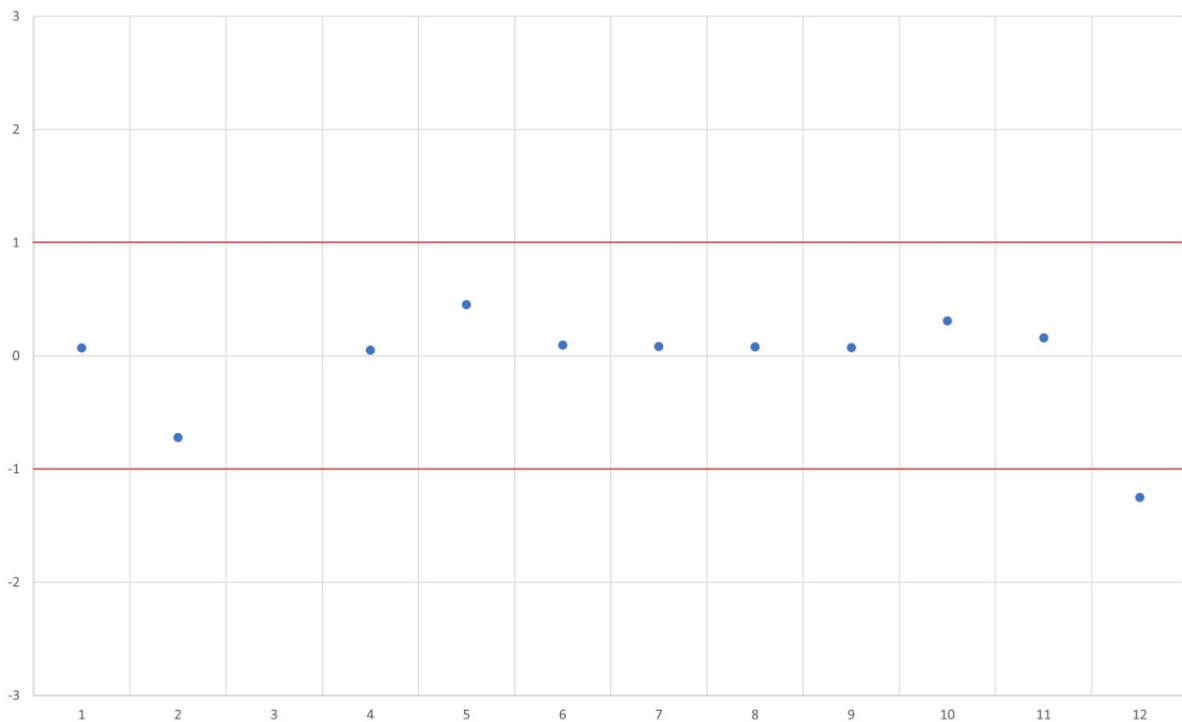


Abbildung 118: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 50 MHz

8.9.3 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

NRP-Z52, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 1 GHz

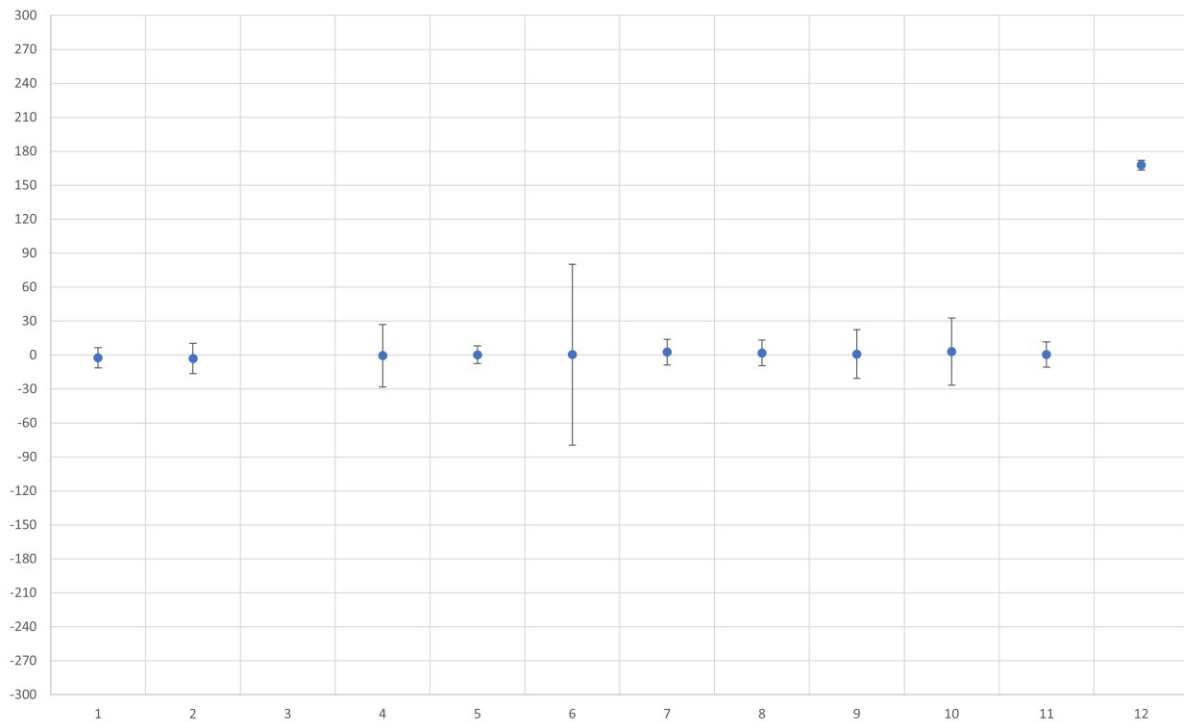


Abbildung 119: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 1 GHz

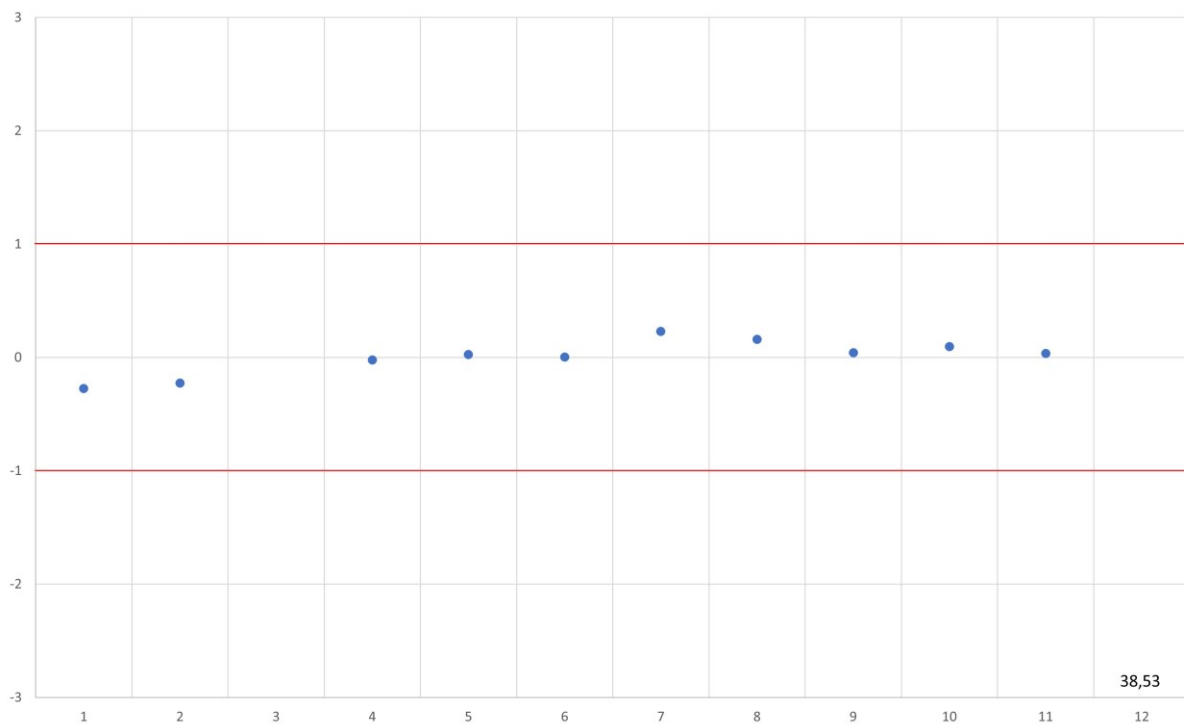


Abbildung 120: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 1 GHz

8.9.4 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

NRP-Z52, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 10 GHz

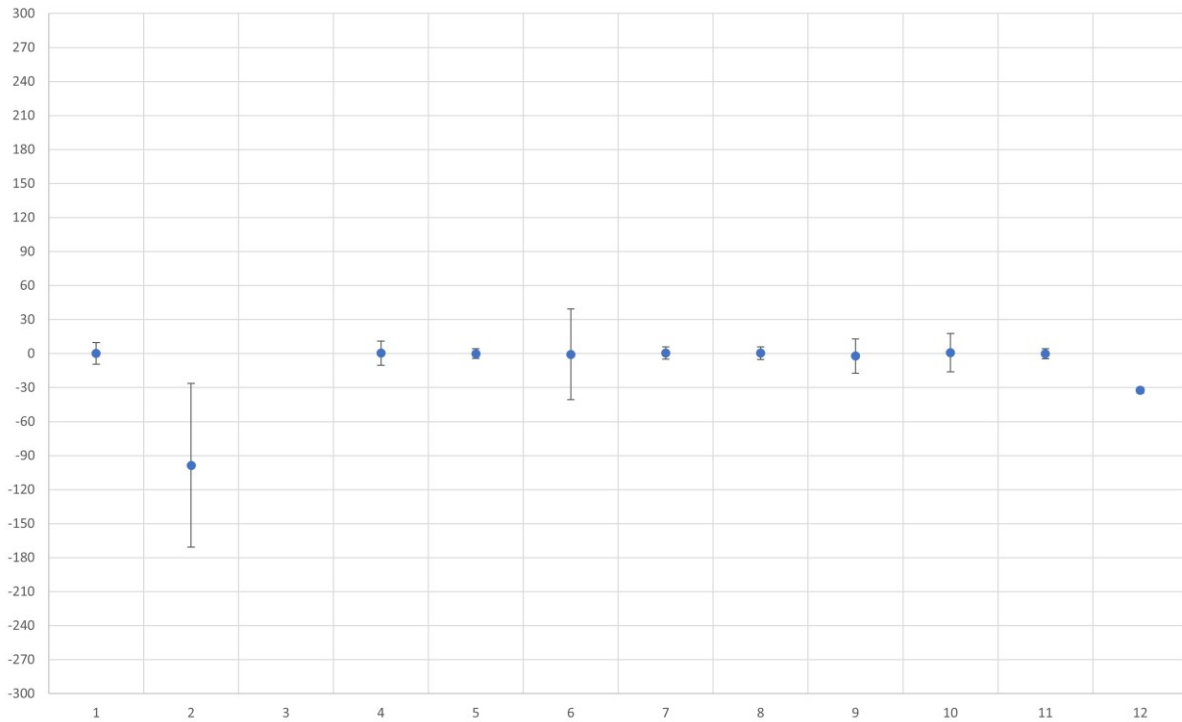


Abbildung 121: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 10 GHz

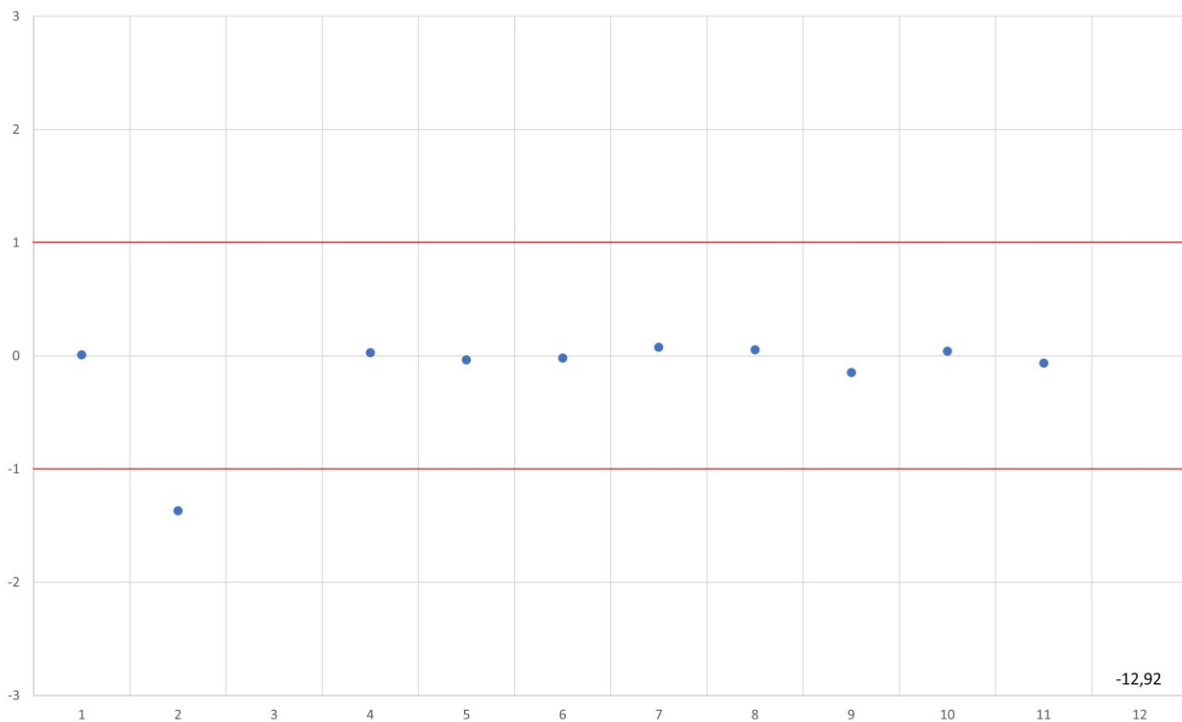


Abbildung 122: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 10 GHz

8.9.5 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

NRP-Z52, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 18 GHz

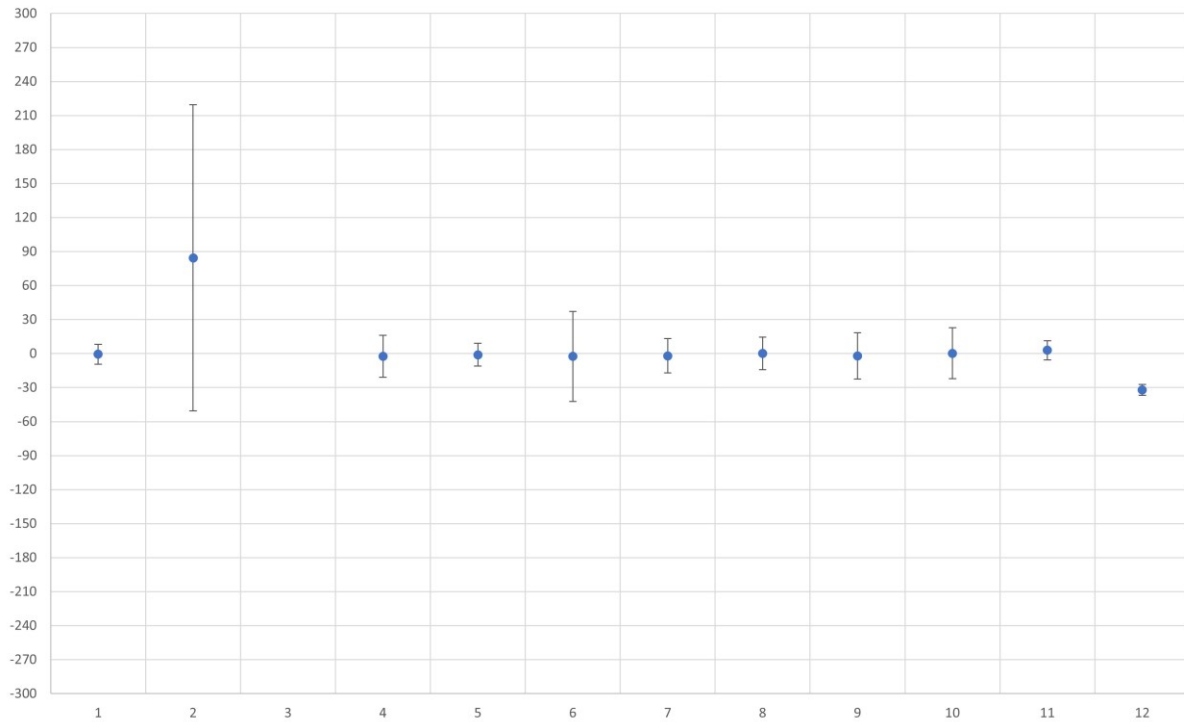


Abbildung 123: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 18 GHz

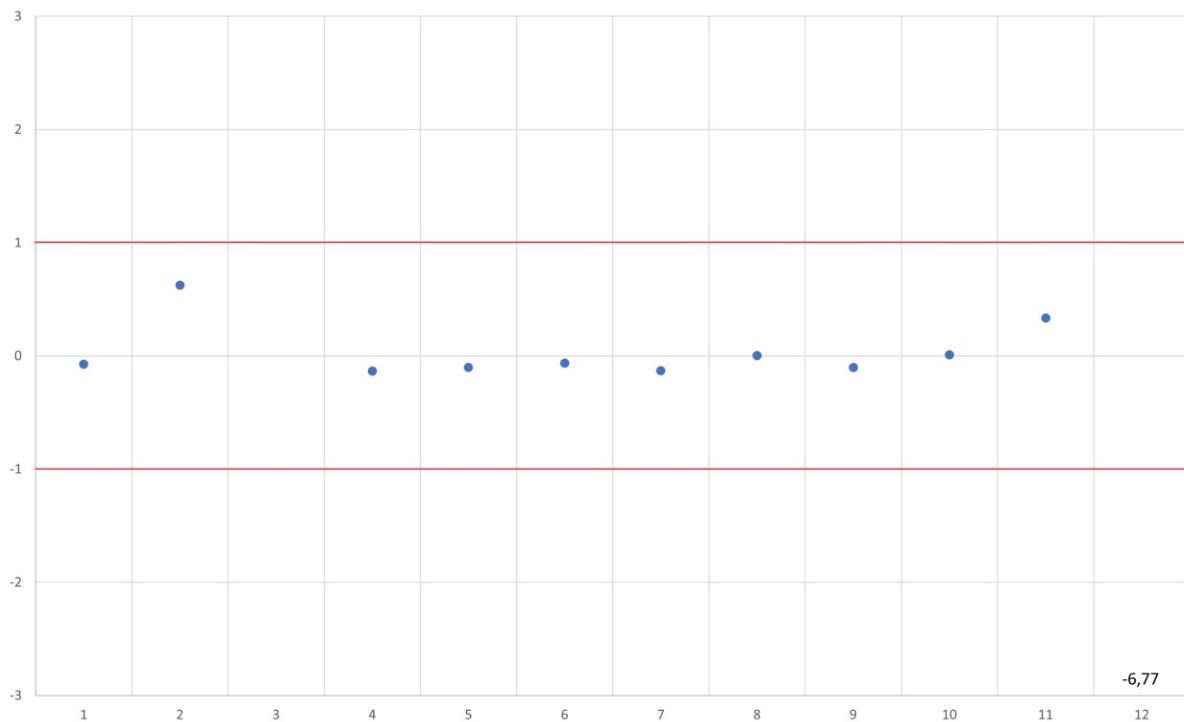


Abbildung 124: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 18 GHz

8.9.6 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

NRP-Z52, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 20 GHz

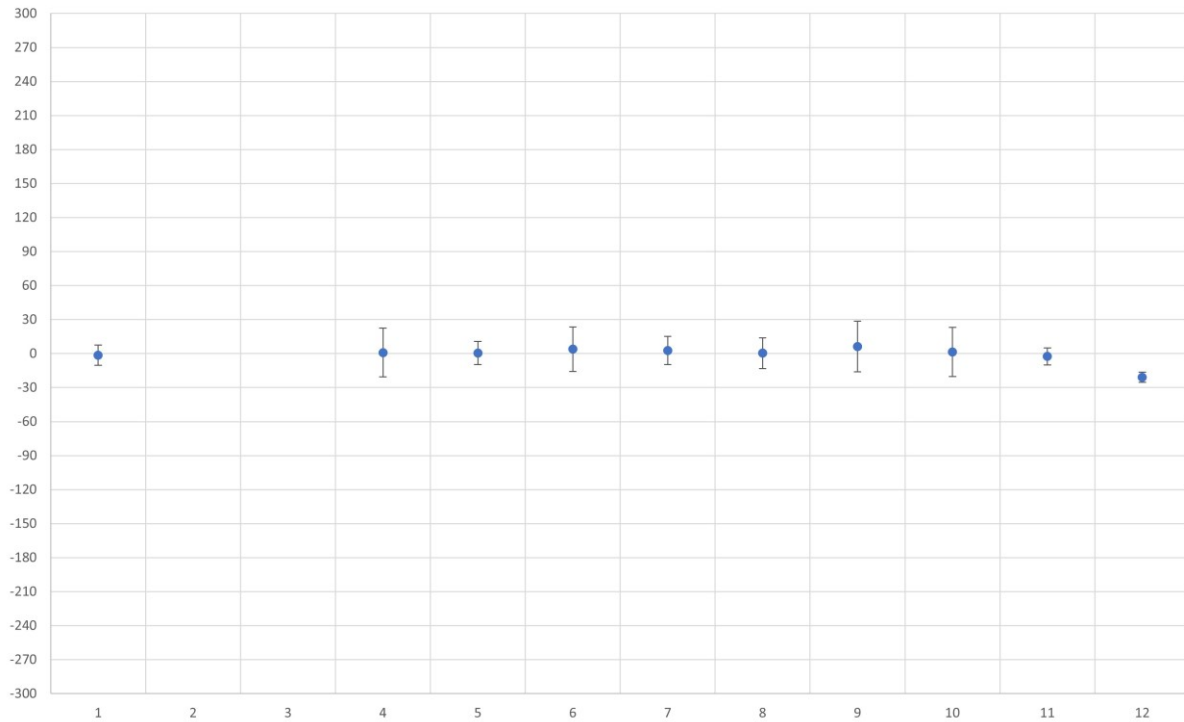


Abbildung 125: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 20 GHz

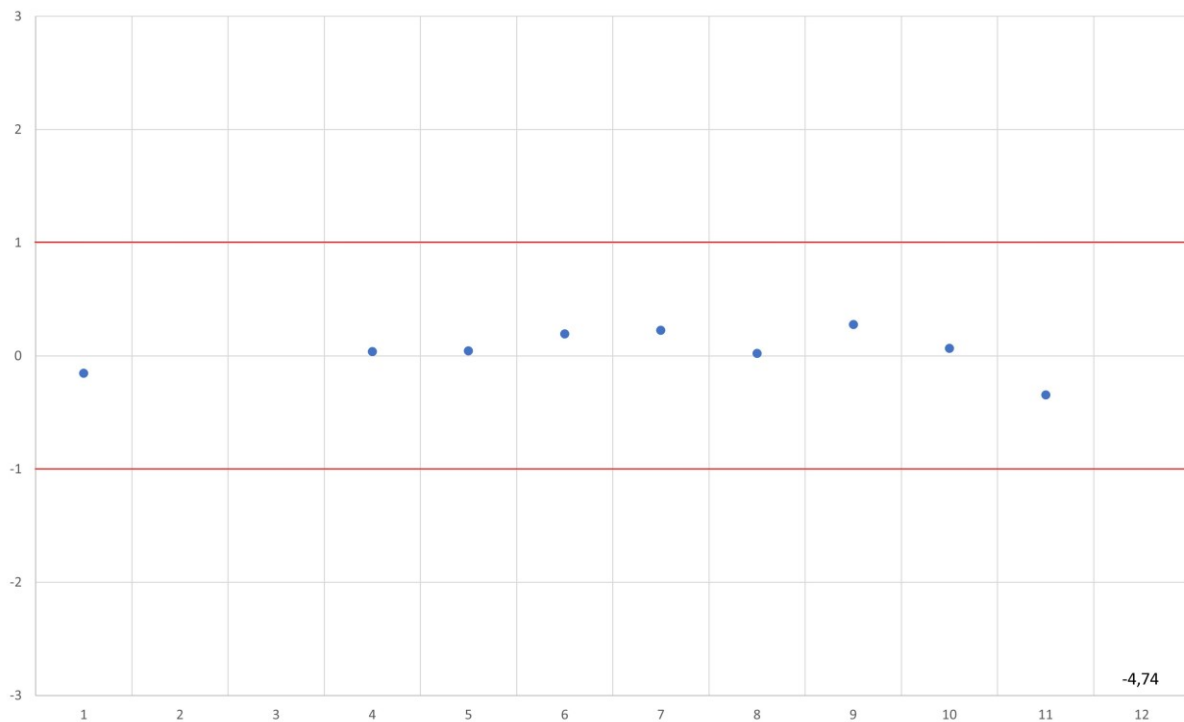


Abbildung 126: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 20 GHz

8.9.7 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

NRP-Z52, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 24 GHz

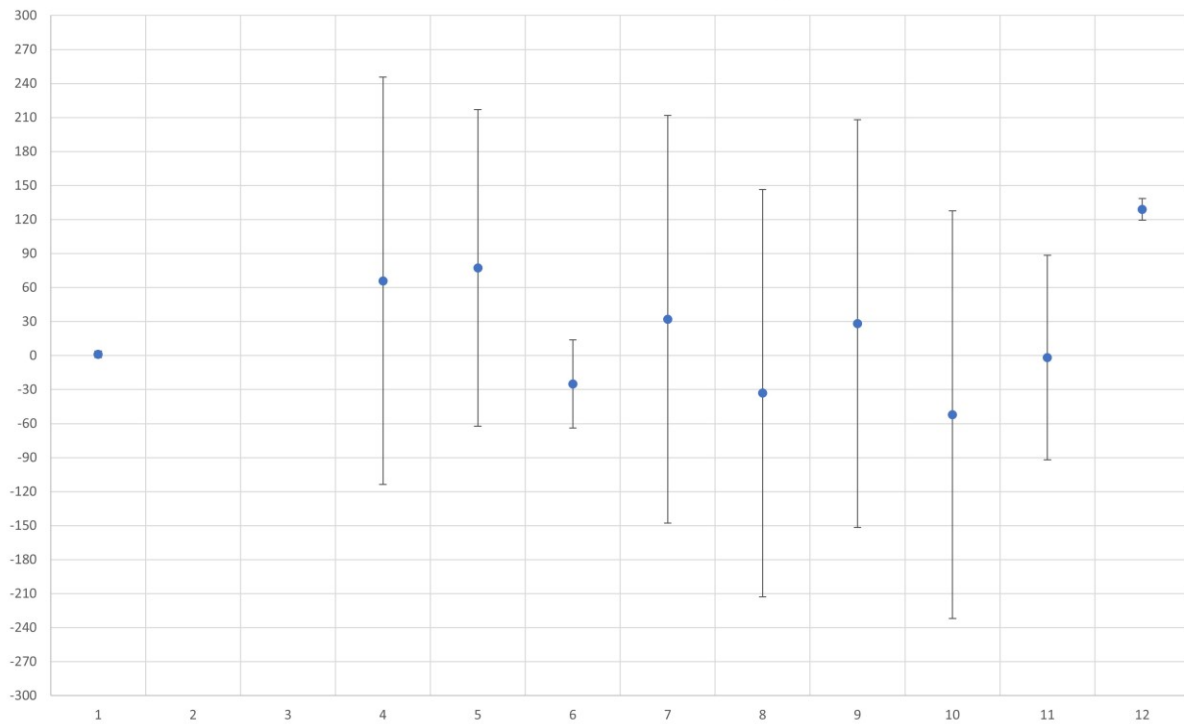


Abbildung 127: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 24 GHz

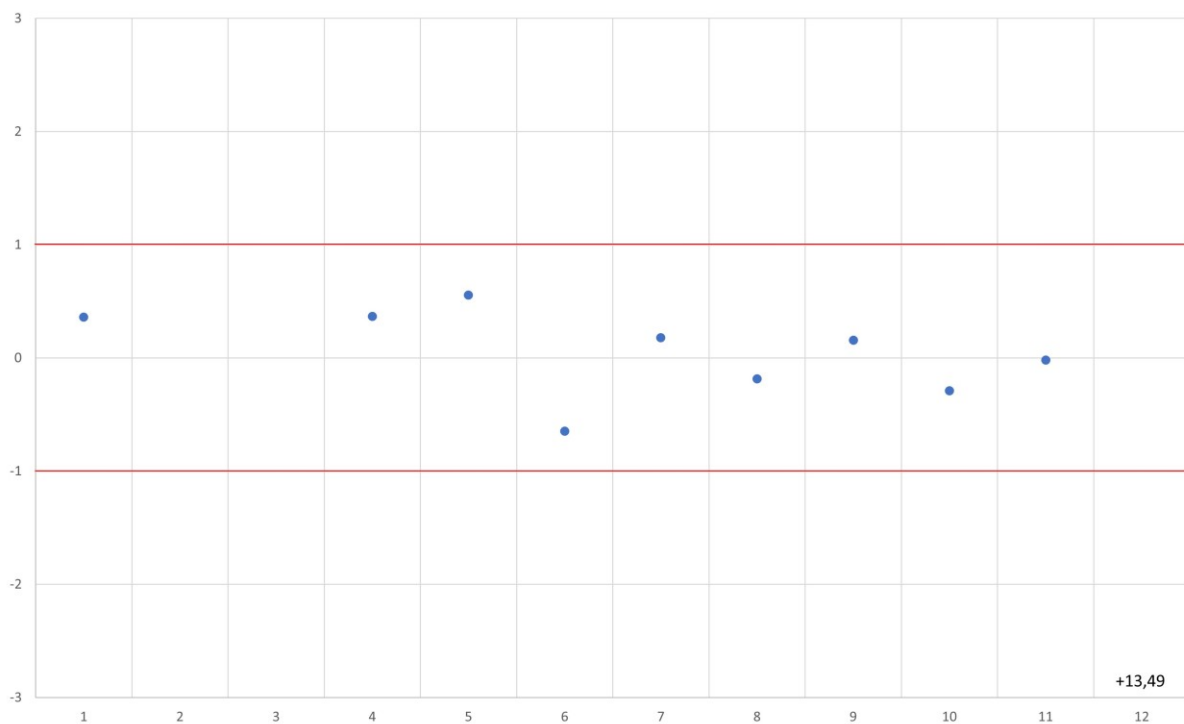


Abbildung 128: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 24 GHz

8.9.8 Auswertung der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

NRP-Z52, Phase des Reflexionsfaktors in Grad; Grad der Äquivalenz bei 26,5 GHz

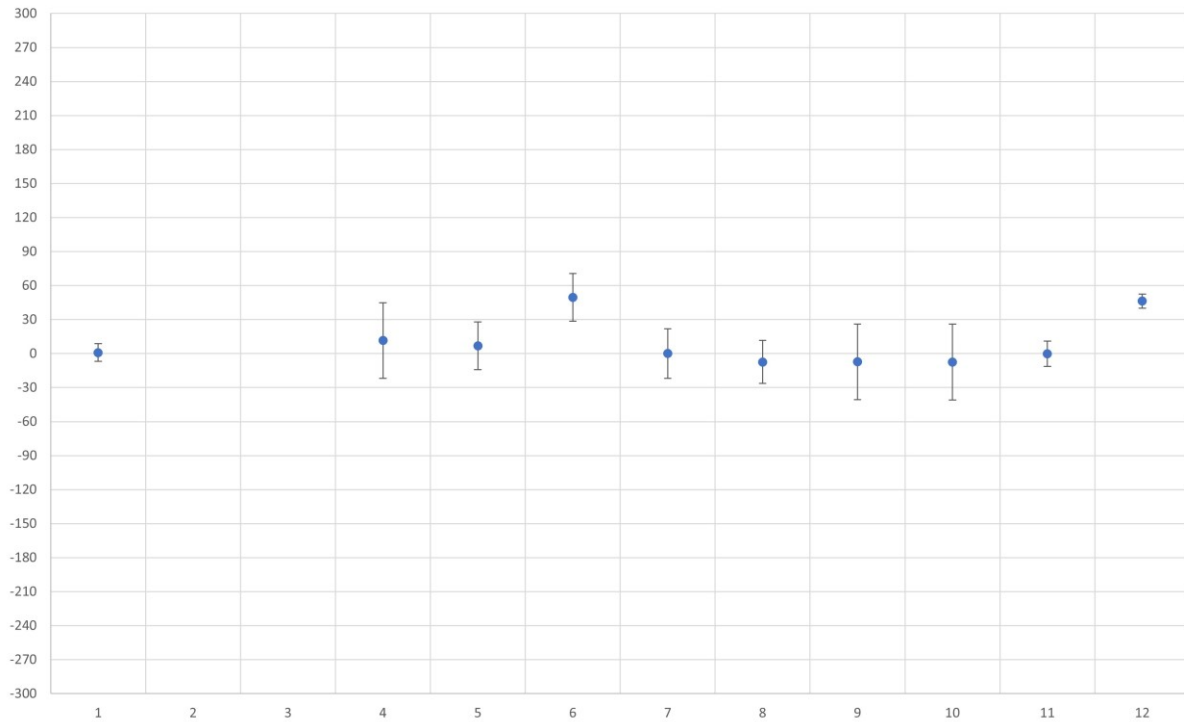


Abbildung 129: Grad der Äquivalenz der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

NRP-Z52, Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors bei 26,5 GHz

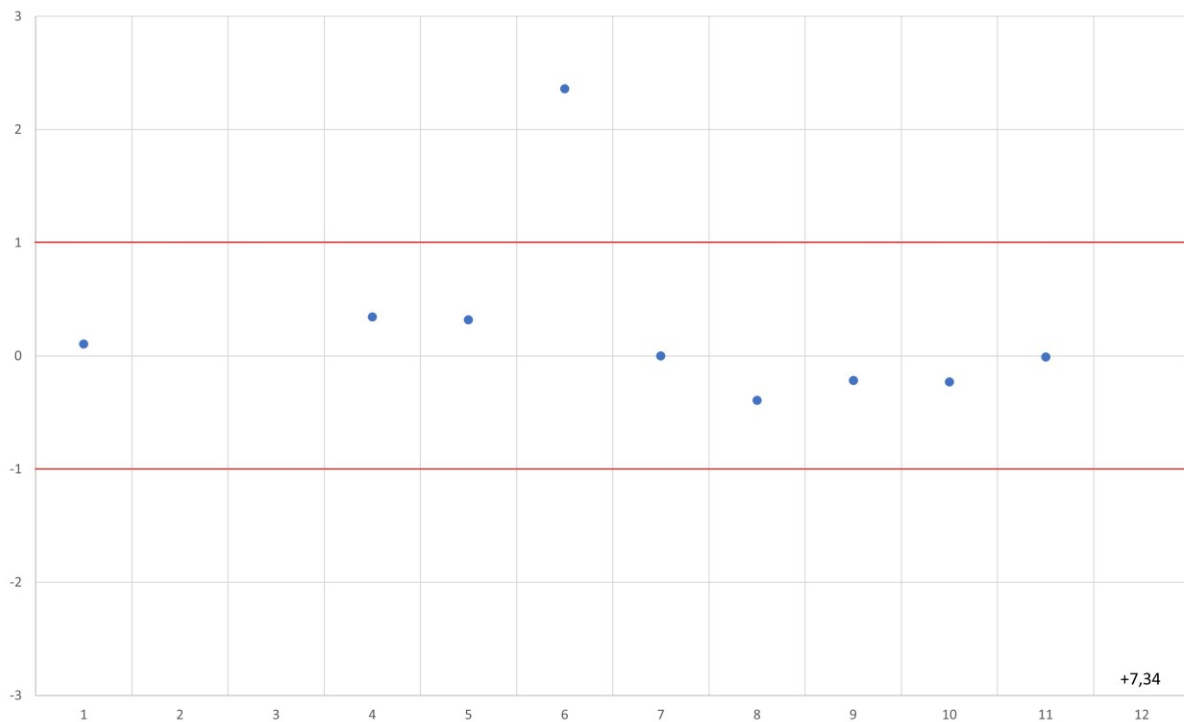


Abbildung 130: Normalisierter Fehler der Phase des Reflexionsfaktors des NRP-Z52 bei 26,5 GHz

8.10 Die Pin-Tiefe des NRP-Z52

8.10.1 Auswertung der Messergebnisse der Pin-Tiefe

Messpunkt	1. Auswertung				2. Auswertung						
	N	F_N	$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$	Konsistenz	r	F_r	$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$	Konsistenz	x_{CRV}	$u(x_{CRV})$	$U(x_{CRV})$
Pin-Tiefe	10	5,5	17	WAHR	10	5,5	17	WAHR	-9,07877	1,13136	2,26271

Tabelle 29: Auswertung der Pin-Tiefe und Prüfung der Konsistenz

Es bedeutet:

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur **1. Auswertung**

N : Anzahl der Ergebnisse der 1. Auswertung

F_N : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(N-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = N - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der **2. Auswertung**

r : Anzahl der berücksichtigten Ergebnisse der 2. Auswertung

F_r : Wert der Konsistenzprüfung

$\chi^2_{(r-1; 0,05)}$: Chi-Quadrat-Verteilung für $\nu = r - 1$ Freiheitsgrade bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,05

Konsistenz : Konsistenzprüfung erfolgreich

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

Messpunkt	1. Auswertung					2. Auswertung				
	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad	x_{ref}	$u(x_{ref})$	$U(x_{ref})$	LCS	Freiheitsgrad
Pin-Tiefe	-9,07877	1,13136	2,26271	10	9	-9,07877	1,13136	2,26271	10	9

Tabelle 30: Auswertung der Pin-Tiefe mit Bestimmung des gewichteten Mittelwertes

Es bedeuten

Messpunkt : Frequenz des Messpunktes

1. Auswertung : Berechnungsergebnisse zur 1. Auswertung

x_{ref} : Mittelwert aller Frequenzpunkte

$u(x_{ref})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{ref})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte

Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

2. Auswertung : Berechnungsergebnisse der 2. Auswertung

x_{CRV} : Gewichteter Mittelwert

$u(x_{CRV})$: Standardmessunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV}

$U(x_{CRV})$: Erweiterte Messunsicherheit des Mittelwertes x_{CRV} ($k = 2$)

LCS : Anzahl der berücksichtigten Messwerte

Freiheitsgrad : Freiheitsgrad der Auswertung (LCS-1)

Teilnehmer	1		2		3		4		5		6	
Frequenz	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
Pin-Tiefe	-2,6212	7,6733	-	-	-	-	-1,2212	8,1933	5,8788	6,6242	-4,9212	9,7406

Teilnehmer	7		8		9		10		11		12	
Frequenz	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D	D	U_D
Pin-Tiefe	-0,9212	5,5570	2,0788	5,5570	-3,6212	9,7406	-0,9212	9,7406	-0,0212	3,4191	4,08	49,95

Tabelle 31: Auswertung des Grades der Äquivalenz des Betrages der Pin-Tiefe

Es bedeuten

D : Grad der Äquivalenz

U_D : Erweiterte Messunsicherheit des Grades der Äquivalenz ($k = 2$)

Hieraus ergeben sich die folgenden normalisierten Fehler E_N (Formeln 13 und 14)

Teilnehmer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frequenz	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N	E_N
Pin-Tiefe	-0,34	-	-	-0,15	0,89	-0,51	-0,17	0,37	-0,37	-0,09	-0,01	0,08

Tabelle 32: Auswertung des normalisierten Fehlers des Betrages der Pin-Tiefe

8.10.2 Auswertung der Pin-Tiefe des NRP-Z52

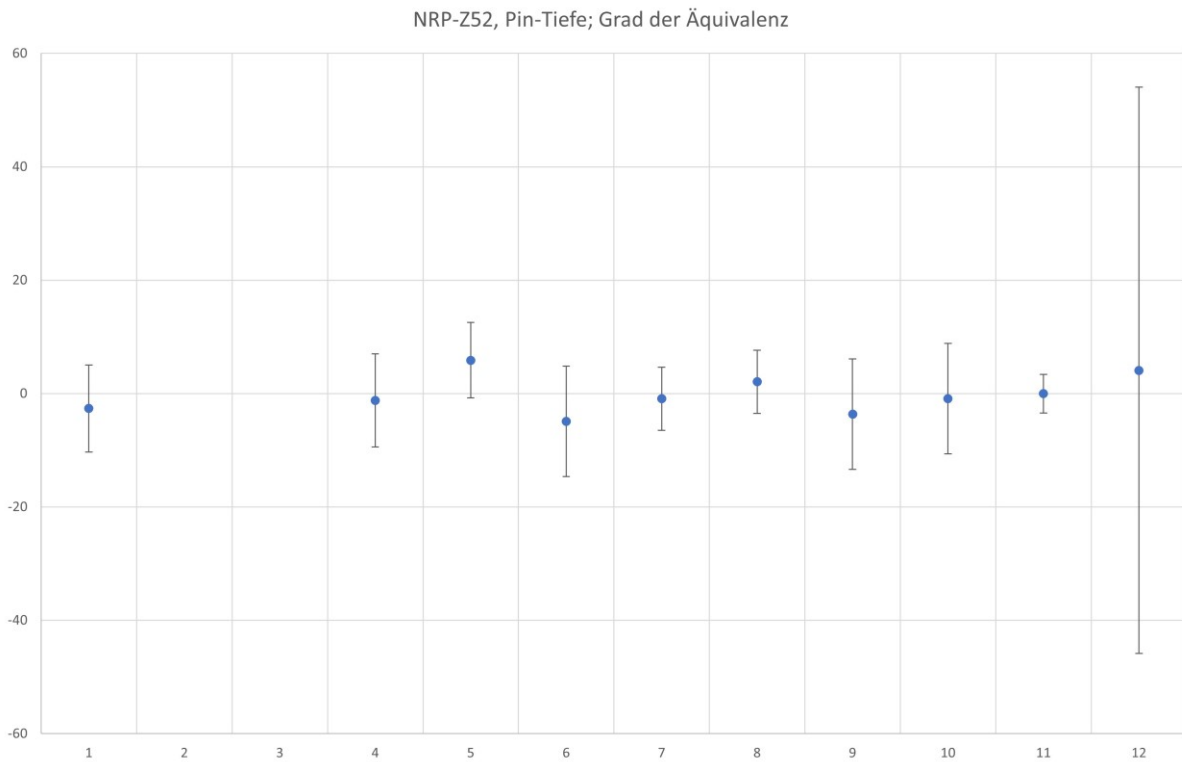


Abbildung 131: Grad der Äquivalenz der Pin-Tiefe des NRP-Z52

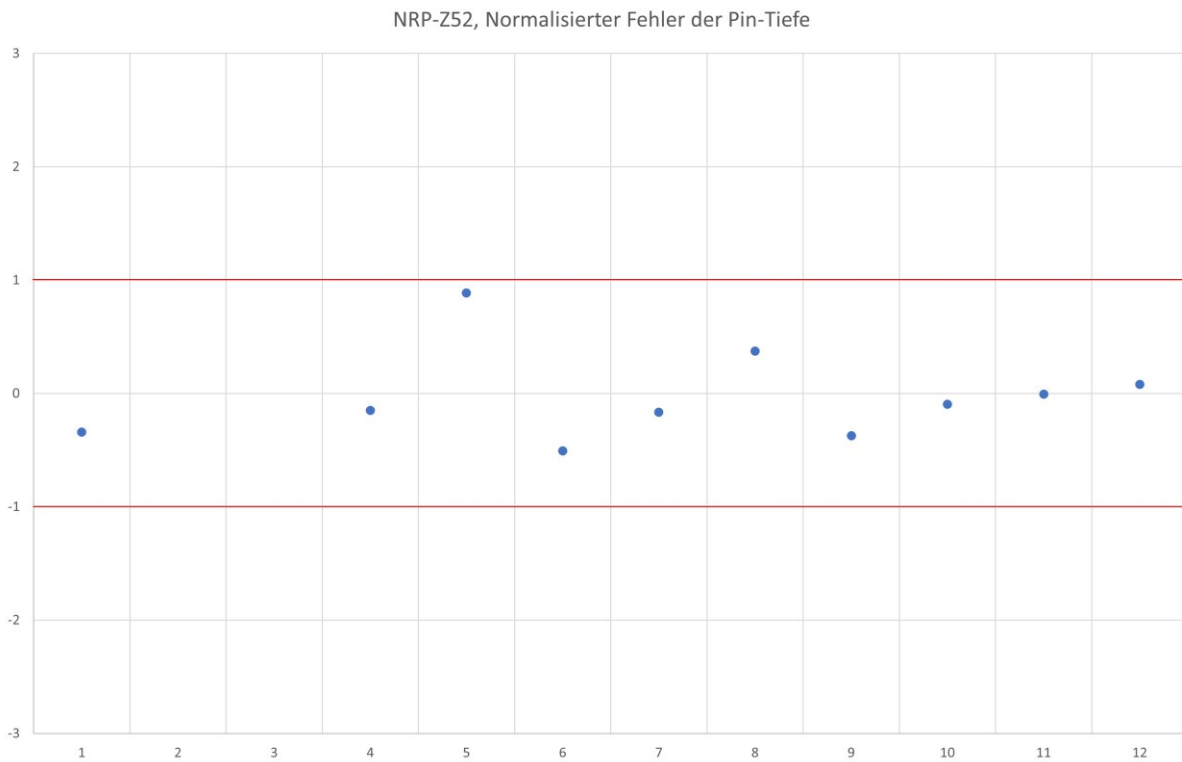


Abbildung 132: Normalisierter Fehler der Pin-Tiefe des NRP-Z52

9 Auswertung des Ringvergleiches

9.1 Resümee für den NRP-Z21

Die Herausforderung bei der Kalibrierung dieses Messkopfes war die geringe Eingangsleistung ($-20 \text{ dBm} \approx 0,01 \text{ mW}$) und die Auswahl des empfindlichsten Messpfades. Diese Herausforderung wurde von allen Teilnehmern gemeistert.

Für den Kalibrierungsfaktor und den Betrag des Reflexionsfaktors zeigten sich gute Übereinstimmungen und ein normalisierter Fehler zwischen +1 und -1.

Für die Phase des Reflexionsfaktor zeigten sich gute Übereinstimmungen, allerdings liegen einige normalisierte Fehler außerhalb des Intervalls von -1 bis +1, insbesondere bei Frequenzen oberhalb von 5 GHz.

Für die Pin-Tiefe liegt der normalisierte Fehler bei zwei Laboratorien außerhalb des Intervalls.

9.2 Resümee für den NRP-Z52

Für den Kalibrierungsfaktor liegen, bis auf bei der Frequenz 10 GHz, alle Werte innerhalb des Intervalls des normalisierten Fehlers.

Beim Betrag des Reflexionsfaktors liegen alle Werte im Intervall.

Bei der Phase des Reflexionsfaktors liegen nur zwei Werte (10 GHz und 26,5 GHz) außerhalb des Intervalls.

Für die Pin-Tiefe liegen alle gemessenen Werte innerhalb des Intervalls.

9.3 Resümee allgemein


Einige Laboratorien haben bei einigen Frequenzen nicht kalibriert, da sie keine Möglichkeit zum Anschluss des entsprechenden Messkopfes hatten.

Ein Laboratorium hat für seine Messwerte keine Unsicherheiten angegeben.

Ein Laboratorium hat seine Messwerte zurückgezogen, da bei einer anschließenden Rekalibrierung der Normale Abweichungen zur letzten Kalibrierung festgestellt wurden.


Alle Teilnehmer haben die Kalibrierzeiten sehr gut eingehalten, und auch der Versand der Normale funktionierte sehr gut.

Einige wenige Laboratorien mussten an die Übersendung der Ergebnisberichte erinnert werden.

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	109 / 120

10 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO/IEC 17043:2010 Konformitätsbewertung – Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen (ISO/IEC 17043:2010)
- [2] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data | Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008. URL: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6.
- [3] EAL Interlaboratory Comparisons, EAL-P7, Edition 1 von März 1996
- [4] EA Interlaboratory Comparison, EA-2/03, (1996)
- [5] J. Randa, Proposal for KCRV and Degree of Equivalence for GTRF Key Comparisons, GT-RF/2000-12, August 2000
- [6] M.G. Cox, The evaluation of key comparison data: An introduction, Metrologia, 39, 587 – 588, 2002.
- [7] M.G. Cox, The evaluation of key comparison data, Metrologia, 39 589 – 595, 2002.
- [8] CCQM Guidance note: Estimation of a consensus KCRV and associated Degrees of Equivalence, Version 10 vom 12.04.2013.

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	110 / 120

Anhang A: Technisches Protokoll

Technisches Protokoll (2022-01-14)

1 Allgemeines

1.1 Einführung

Ziel des Ringvergleiches ist es, akkreditieren Laboratorien eine Möglichkeit zu geben, ihre Leistung durch Vergleich mit den Ergebnissen anderer Laboratorien zu überwachen, Stichwort Eignungsprüfungen (s. auch DIN EN ISO/IEC 17025, 7.7.2). Dazu organisiert die Arbeitsgruppe 2.22 Hochfrequenz-Basisgrößen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) einen Ringvergleich im Bereich Hochfrequenzleistung.

Als Messobjekte werden ein NRP-Z21 Drei-Pfad-Leistungssensor mit N-Verbinder, ein NRP-Z52 Thermischer Leistungssensor mit 3,5 mm-Verbinder sowie ein NRP2 Leistungsmessgerät eingesetzt.

1.2 Pilotlaboratorium

Das Pilotlaboratorium dieses Vergleiches ist die Arbeitsgruppe 2.22 der PTB, welches zwei Kontrollmessungen durchführen wird. Die erste Messung erfolgt zu Beginn und die zweite Messung am Ende des Vergleiches. Die Kontaktadresse ist:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
Arbeitsgruppe 2.22; Jürgen Rühaak
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Tel.: (05 31) 592 - 22 23
E-Mail: juergen.ruehaak@ptb.de

1.3 Transport der Vergleichsnormale

Die zwei Sensoren NRP-Z21 und NRP-Z52 sowie ein NRP2 Leistungsmessgerät sind zusammen mit einer CD und den Unterlagen in einem Transportkoffer verpackt. Dieser wiederum ist in einem Karton mit der Größe 76 cm Breite, 53 cm Tiefe und 47 cm Höhe, mit einem Gesamtgewicht von kleiner 15 kg verpackt.

Die Kosten für den Versand zum nächsten Teilnehmer oder zurück zur PTB trägt das jeweilige Laboratorium.

Das **Eintreffen** und **Versenden** sowie die Unversehrtheit der Messobjekte sind dem Pilotlabor umgehend per E-Mail mitzuteilen.

1.4 Umlauf

Die Kalibrierung der Messobjekte erfolgt in der Reihenfolge, wie sie in dem Umlaufplan (siehe Abschnitt 5) festgelegt ist. Der Starttermin mit der Ankunft im ersten Kalibrierlaboratorium ist der 10.01.2022. Im Abschnitt 6 sind die Adressen und Ansprechpartner aufgeführt.

Für die Messungen ist jeweils eine Woche und für den Weitertransport eine weitere Woche eingeplant. Falls die geplante Messperiode von einem Kalibrierlaboratorium nicht eingehalten werden kann, ist das Pilotlaboratorium **rechtzeitig vorher** zu informieren, damit eine Ersatzlösung gefunden werden kann.

1.5 Defekte an den Messobjekten

Falls an einem Messobjekt Störungen oder Beschädigungen festgestellt werden sollten, ist das Pilotlaboratorium **sofort** zu unterrichten, damit eventuell ein Ersatznormal beschafft werden kann.

2 Die Messungen

2.1 Die Messobjekte

Der Koffer enthält (siehe Abbildungen 1 bis 5):

- a. NRP-Z21 Messkopf mit N-Stecker mit der Seriennummer 104135
- b. NRP-Z52 Messkopf mit 3,5 mm-Stecker mit der Seriennummer 120021
- c. NRP2-Leistungsmessgerät mit der Seriennummer 102227
- d. Technisches Protokoll
- e. Vorlage zum Ergebnisbericht
- f. Liste der Teilnehmer
- g. Umlaufplan
- h. CD mit:
 - Technischem Protokoll
 - Vorlage zum Ergebnisbericht
 - Liste der Teilnehmer
 - Umlaufplan
 - NRP-Z21 Benutzerhandbuch
 - NRP-Z52 Benutzerhandbuch
 - NRP2 Usermanual
 - NRP2 Kompakthandbuch



Abbildung 133: Transportkoffer



Abbildung 134: Transportkoffer mit dem Leistungsmessgerät links und den Messköpfen rechts.



Abbildung 135: Die Messköpfe im Karton



Abbildung 136: Die Messköpfe

**Abbildung 137:** Transportkoffer im Karton

Gesamtgewicht: kleiner 15 kg

Maße:

Breite: 76 cm,

Tiefe: 53 cm,

Höhe: 47 cm.

Die NRP-Leistungsmessköpfe haben eine Eingangsimpedanz von etwa 50Ω und sind mit einem Präzisions-N-Stecker bzw. mit einem Präzisions-3,5 mm-Stecker ausgerüstet. Sie können entweder mit einem im Labor vorhandenem Gerät oder mit dem mitgelieferten NRP2-Leistungsmessgerät vermessen werden.

2.2 Umgebungsbedingungen

Die Raumtemperatur während der Messung sollte $23 \text{ }^\circ\text{C}$ betragen und ist zu dokumentieren. Die aktuellen Werte müssen im Kalibrierbericht angegeben werden. Eine hinreichend lange Anwärmzeit sollte gewährt werden.

2.3 Inspektion vor der Messung und Steckerkontrolle

Vor Beginn der Messung muss geprüft werden, ob die Messobjekte äußerlich unbeschädigt sind. Für die Verbinder der Messobjekte gilt

- ggf. reinigen,
- überprüfen, ob unbeschädigt,
- überprüfen, ob der Abstand zwischen der Referenzebene des Außenleiters und der Schulter des Innenleiters (Pin-Tiefe) innerhalb der Spezifikation liegt.

2.4 Anschluss der Messobjekte

Die Messobjekte sollten durch Anziehen mit einem passenden Drehmomentschlüssel mit dem Messsystem verbunden werden.

Die HF-Leistung während der Messung sollte für den NRP-Z21 etwa **-20 dBm** ($10 \mu\text{W}$) und für den NRP-Z52 etwa **0 dBm** (1 mW) betragen.

Die Messfrequenzen müssen am NRP2-Leistungsmessgerät zur internen Korrekturberechnung eingestellt werden (Kalibrierfrequenz).

2.5 Einstellungen und Messgrößen

2.5.1 Kalibrierung NRP-Z21

2.5.1.1 Einstellungen NRP-Z21

Die Messfrequenz soll dem NRP2-Leistungsmessgerät mitgeteilt werden. Dies erfolgt mit der Taste <FREQ> und anschließender Auswahl der Frequenz.

Der Sensor NRP-Z21 hat drei separate Messpfade. Kalibriert werden soll der Pfad 1 (der empfindlichste) bei einer eingestrahlenen Leistung von etwa -20 dBm. Dazu muss der Pfad 1 manuell ausgewählt werden. Dieses geschieht mit dem SCPI-Befehl "SENSe:RANGe 0".

2.5.1.2 Information (NRP-Z21 Benutzerhandbuch Rev 09, Seite 6-15)

Befehl	Auswirkung
SENSe:RANGe 0	Manuelle Auswahl des 1. Messpfades des Sensors: 0 Messpfad 1 (der empfindlichste) 1 Messpfad 2 (der mittlere) 2 Messpfad 3 (der unempfindlichste)
SENSe:RANGe?	Ausgabe des aktuellen Messpfades: 0 Messpfad 1 (der empfindlichste) 1 Messpfad 2 (der mittlere) 2 Messpfad 3 (der unempfindlichste)
SENSe:RANGe:AUTO?	Abfrage automatische Selektion des Messpfades: 1 Off (manuell) 2 On (automatisch)
SENSe:RANGe:AUTO 1	Selektion des Messpfades manuell: 1 Off (manuell) 2 On (automatisch)

2.5.1.3 NRP-Z21 Messgrößen

Für die Frequenzen 50 MHz, 500 MHz, 1 GHz, 5 GHz, 10 GHz, 15 GHz und 18 GHz und einer Messleistung von etwa -20 dBm sind folgende Messgrößen zu bestimmen:

- a. der absolute Kalibrierungsfaktor K , mit

$$K = \frac{P_{\text{Anzeige}}}{P_{\text{Eingestrahlt}}}$$

P_{Anzeige} : Angezeigte Leistung
 $P_{\text{Eingestrahlt}}$: Eingestrahelte Leistung

- b. der Betrag $|\Gamma|$ und die Phase φ des Eingangsreflexionsfaktors,
c. die Pin-Tiefe, d.h. der Abstand zwischen Referenzebene und der Schulter des Innenleiters.

2.5.2 Kalibrierung NRP-Z52

2.5.2.1 Einstellungen NRP-Z52

Die Messfrequenz soll dem NRP2-Leistungsmessgerät mitgeteilt werden. Dies erfolgt mit der Taste <FREQ> und anschließender Auswahl der Frequenz.

2.5.2.2 NRP-Z52 Messgrößen

Für die Frequenzen 50 MHz, 1 GHz, 10 GHz, 18 GHz, 20 GHz, 24 GHz und 26,5 GHz und einer Messleistung von ca. 1 mW sind folgende Messgrößen zu bestimmen:

- a. der absolute Kalibrierungsfaktor K , mit

$$K = \frac{P_{\text{Anzeige}}}{P_{\text{Eingestrahlt}}}$$

P_{Anzeige} : Angezeigte Leistung
 $P_{\text{Eingestrahlt}}$: Eingestrahelte Leistung

- b. der Betrag $|\Gamma|$ und die Phase φ des Eingangsreflexionsfaktors,
c. die Pin-Tiefe, d.h. der Abstand zwischen Referenzebene und der Schulter des Innenleiters.

2.6 Dokumentation der Messergebnisse

Die Kalibrierlaboratorien müssen die Messergebnisse in einem Ergebnisbericht angeben (siehe Abschnitt 0).

Folgende Angaben sind dazu mindestens erforderlich:

1. Absoluter Kalibrierungsfaktor,
 - Messleistung,
 - kurze Erläuterung des Messverfahrens und der verwendeten Normale,
 - Rückführung (auf PTB, anderes Staatsinstitut oder anderes Kalibrierlaboratorium),
2. Betrag und Phase des Reflexionsfaktors,
 - kurze Erläuterung des Messverfahrens und der verwendeten Normale (Autocal, SOL...),
3. Pin-Tiefe des Verbinders,
 - kurze Erläuterung des Messverfahrens und der Normale,
4. Temperatur und relative Luftfeuchte während der Messung,
5. Kalibrierdatum.

3 Auswertung des Ringvergleiches

Die Auswertung erfolgt nach dem Ende der Rückmessung in der PTB. Über die Ergebnisse dieses nationalen Ringvergleiches wird ein Bericht angefertigt und an die Teilnehmer verteilt. Im Entwurf des Abschlussberichtes erfolgt eine anonyme Zuordnung der Messergebnisse. Ob im endgültigen Abschlussbericht die Namen der Teilnehmer genannt werden oder nicht, wird mit dem Entwurf nach Befragung und Zustimmung der Teilnehmer entschieden.

4 Kosten

Die anfallenden Kosten sind von den Teilnehmern zu tragen.


Die Gesamtkosten werden durch die Anzahl der Teilnehmer (ohne PTB) geteilt. Nach derzeitigem Stand (14.01.2022, 10 Teilnehmer) werden die Kosten pro Teilnehmer etwa 1400 Euro (+ MwSt.) betragen.

Eine Aufteilung nach gemessenen Normalen oder Frequenzen erfolgt nicht.

5 Teilnehmer und Umlaufplan

Folgende Reihenfolge der Kalibrierungen ist vorgesehen:

			Start (Mo)	Ende (Fr)
1.	PTB	Braunschweig		07.01.2022
2.	Rohde & Schwarz	Memmingen	10.01.	21.01
3.	EMCCons	Unterleinleiter	24.01.	04.02.
4.	Tesat-Spacecom	Backnang	07.02.	18.02.
5.	Airbus	Manching	21.02.	04.03.
6.	Testo	Kirchzarten	07.03.	18.03.
7.	Hensoldt	Ulm	21.03.	01.04.
8.	esz	Eichenau	04.04.	15.04.
9.	ELMTEC	Königslutter am Elm	18.04.	29.04.
10.	Ametek	Berlin	02.05.	13.05.
11.	Tescal	Egmating	16.05.	27.05.
12.	PTB	Braunschweig	30.05.	


	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	115 / 120

Sind Verschiebungen in der Reihenfolge aus Termingründen erforderlich, bittet das Pilotlabor um **sofortige** Mitteilung.

6 Adressenliste und Ansprechpersonen

Aufgrund der Covid-19 Situation gibt es bei einigen Firmen spezielle Versandvorschriften. Bitte erkundigen sie sich **vorher** darüber und kontaktieren sie den nächsten Teilnehmer.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt Arbeitsgruppe 2.22 Bundesallee 100 38116 Braunschweig	Jürgen Rühaak juergen.ruehaak@ptb.de (05 31) 592 - 22 23
Rohde & Schwarz Messgerätebau GmbH 3MT-CMC Calibration/Technical Support Rohde-und-Schwarz-Straße 1 87700 Memmingen	Detlef Köntopp detlef.koentopp@rohde-schwarz.com (0 83 31) 10 - 811 69
EMCCons DR. RAŠEK GmbH & Co. KG Störnhofer Berg 15 91364 Unterleinleiter	Andreas Abach a.abach@emcc.de (0 91 94) 72 62 - 0
Tesat-Spacecom GmbH & Co. KG Calibration TSPCO2-TL6 Gerberstraße 49 71522 Backnang	Rolf Gerster rolf.gerster@tesat.de (0 71 91) 930-1721
Airbus Defence and Space Kalibrier- und Messservice TOQIS2-TL2 Gebäude 301 / Raum K20 Rechliner Straße 85077 Manching	Ralf Pöthig ralf.poethig@airbus.com (0 84 59) 81 - 642 27
Testo Industrial Services GmbH HF-Labor, z. Hd. Achim Kimmerle Gewerbestraße 3 79199 Kirchzarten	Kiran Majer kmajer@testotis.de (0 76 61) 90 901 - 8472
Hensoldt Sensors GmbH HOPW4 Wörthstraße 85 89077 Ulm	Stefan Siebinger stefan.siebinger@hensoldt.net (07 31) 392 - 27 79
esz AG calibration & metrology Max-Planck-Straße 16 82223 Eichenau	Tobias Klein t.klein@esz-ag.de (0 81 41) 888 87 - 185
ELMTEC Ingenieurgesellschaft mbH Kattreppeln 28 38154 Königslutter am Elm	Jens Schüür j.schueuer@elmtec.de (0 53 53) 95 45 - 21

	Nationaler Ringvergleich „HF-Leistung im N- und 3,5 mm-Koaxialleiter“ https://doi.org/10.7795/550.20230921	DKD-V 2-7	
		Ausgabe:	09/2023
		Revision:	1
		Seite:	116 / 120

AMETEK CTS Europe GmbH Landsberger Straße 255 12623 Berlin	Uwe Karsten uwe.karsten@ametek.com (0 30) 56 59 88 18
Trescal GmbH Egming Keltenring 28 85658 Egming	Robert Petermeier robert.petermeier@trescal.com (0 80 95) 8723 - 0

7 Ergebnisbericht

Der Ergebnisbericht sollte nach erfolgter Messung per E-Mail verschickt werden (juergen.ruehaak@ptb.de). Eine Vorlage hierfür (DOCX) liegt auf der CD.

7.1 Ergebnisse des NRP-Z21

Die Messfrequenz soll dem NRP2-Leistungsmessgerät mitgeteilt werden. Dies erfolgt mit der Taste <FREQ> und anschließender Auswahl der Frequenz.

Der Leistungsmesskopf NRP-Z21 hat drei separate Messpfade. Kalibriert werden soll der Pfad 1 (der empfindlichste) bei einer eingestrahlten Leistung von etwa **-20 dBm**.

Dazu muss beim Grundgerät bzw. beim Messkopf der Pfad 1 manuell ausgewählt werden.

Dieses geschieht mit den SCPI-Befehlen "SENSe:RANGe 0" (siehe auch 2.5.1 Kalibrierung NRP-Z21).

7.1.1 Messergebnisse des Kalibrierungsfaktors:

Frequenz	Kalibrierungsfaktor K	Erweiterte Unsicherheit des Kalibrierungsfaktors $U(K)$
50 MHz		
500 MHz		
1 GHz		
5 GHz		
10 GHz		
15 GHz		
18 GHz		

7.1.2 Messleistung:

(Etwa -20 dBm)

Messleistung: _____ mW

7.1.3 Kurze Erläuterung des Messverfahrens und der verwendeten Normale:

7.1.4 Rückführung:

Rückführung auf: _____

7.1.5 Messergebnisse des Reflexionsfaktors des NRP-Z21:

Frequenz	Betrag des Reflexionsfaktors $ \Gamma $	Erweiterte Unsicherheit des Betrages des Reflexionsfaktors $U(\Gamma)$	Phase des Reflexionsfaktors φ in Grad	Erweiterte Unsicherheit der Phase des Reflexionsfaktors $U(\varphi)$ in Grad
50 MHz				
500 MHz				
1 GHz				
5 GHz				
10 GHz				
15 GHz				
18 GHz				

7.1.6 Kurze Erläuterung des Messverfahrens und der verwendeten Normale:
(SOL, Autocal, Kalkit von ...)

7.1.7 Pin-Tiefe:

Die Pin-Tiefe beträgt: _____ μm \pm _____ μm

7.1.8 Erläuterung des Messverfahrens und der Normale:
(Messuhr....)

7.1.9 Temperatur und Feuchte:

Temperatur: (_____ \pm _____) $^{\circ}\text{C}$

Feuchte: (_____ \pm _____) % rel. Feuchte

7.1.10 Kalibrierdatum des NRP-Z21:

Kalibrierdatum: _____

7.2 Ergebnisse des NRP-Z52

7.2.1 Messergebnisse des Kalibrierungsfaktors:

Die Messfrequenz soll dem NRP2-Leistungsmessgerät mitgeteilt werden. Dies erfolgt mit der Taste <FREQ> und anschließender Auswahl der Frequenz.

Frequenz	Kalibrierungsfaktor K	Erweiterte Unsicherheit des Kalibrierungsfaktors $U(K)$
50 MHz		
1 GHz		
10 GHz		
18 GHz		
20 GHz		
24 GHz		
26,5 GHz		

7.2.2 Messleistung:

(Etwa 0 dBm)

Messleistung: _____ mW

7.2.3 Kurze Erläuterung des Messverfahrens und der verwendeten Normale:

7.2.4 Rückführung:

Rückführung auf: _____

7.2.5 Messergebnisse des Reflexionsfaktors des NRP-Z52:

Frequenz	Betrag des Reflexionsfaktors $ \Gamma $	Erweiterte Unsicherheit des Betrages des Reflexionsfaktors $U(\Gamma)$	Phase des Reflexionsfaktors φ in Grad	Erweiterte Unsicherheit der Phase des Reflexionsfaktors $U(\varphi)$ in Grad
50 MHz				
1 GHz				
10 GHz				
18 GHz				
20 GHz				
24 GHz				
26,5 GHz				

7.2.6 Kurze Erläuterung des Messverfahrens und der verwendeten Normale:
(SOL, Autocal...)

7.2.7 Pin-Tiefe:

Die Pin-Tiefe beträgt: _____ $\mu\text{m} \pm$ _____ μm

7.2.8 Erläuterung des Messverfahrens und der Normale:
(Messuhr...)

7.2.9 Temperatur und Feuchte:

Temperatur: (_____ \pm _____) °C

Feuchte: (_____ \pm _____) % rel. Feuchte

7.2.10 Kalibrierdatum des NRP-Z52:

Kalibrierdatum: _____
Endeseite



Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de