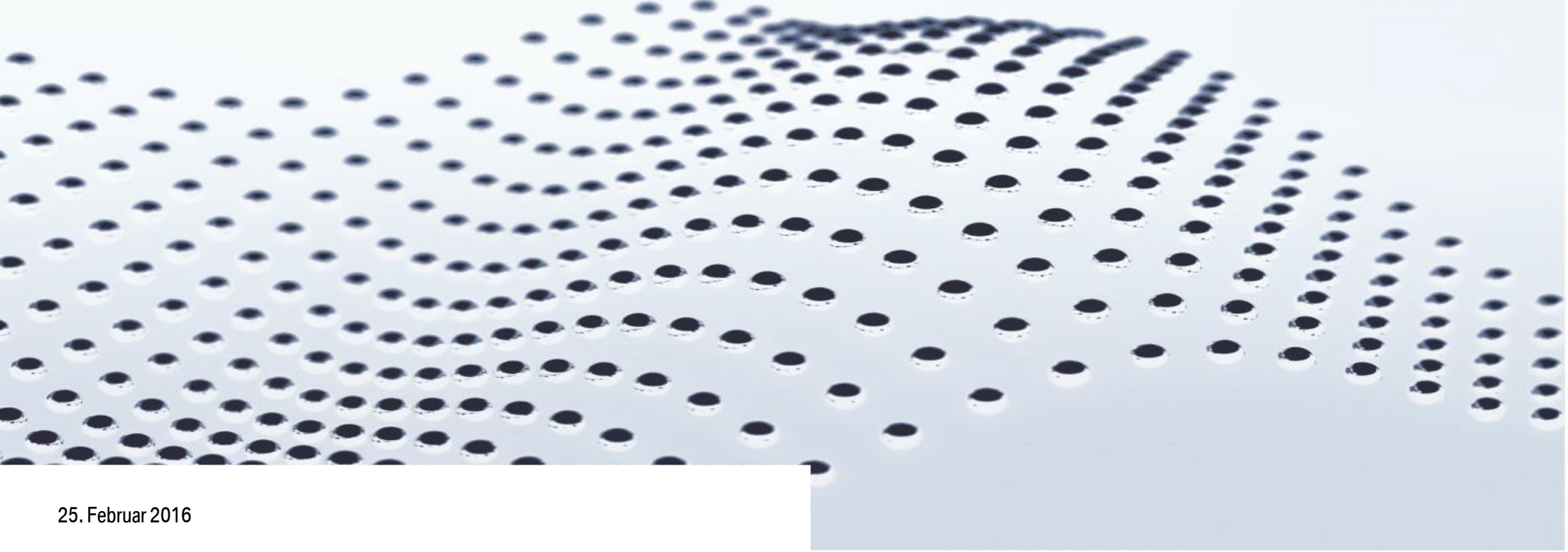


25. Februar 2016

FASERORIENTIERUNG MIT WIRBELSTROM.

FÜR GELEGE UND CF-SMC MATERIALIEN.

MATTHIAS ULRICH, BMW LABORTECHNIK MÜNCHEN.

BMW GROUP

Rolls-Royce Motor Cars Limited

ÜBERSICHT.

- Stand der Technik.
- Motivation.
- Messprinzip.
- Auswertungen an UD (unidirektionalen) und MD (multidirektionalen) Gelegematerialien.
- Auswertungen der einzelnen Stufen eines MD – Stufenkeiles.
- Auswertungen an CF-SMC mit Validierung durch CT.
- Auswertung an thermoplastischer Kurzfaserspritzguss-Platte.

© BMW Group

STAND DER TECHNIK.

1. Erzeugen von Polardiagrammen an einzelnen Punkten durch Sensordrehung.
   - Unklarheit über Verrechnung der 2 entstehenden Messsignale (keine Validierung).
   - Keine automatische Berechnung einer Hauptorientierungsrichtung.

2. Bestimmung der Faserorientierung anhand von Flächenscans.
   - Darstellung eines Richtungsvektors (kein Polardiagramm).
   - Bildauswerteverfahren.

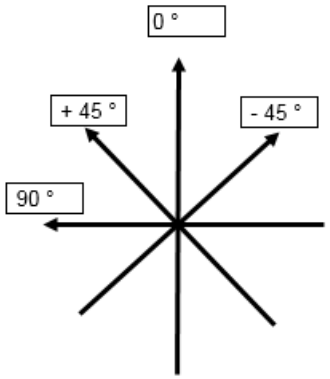
© BMW Group

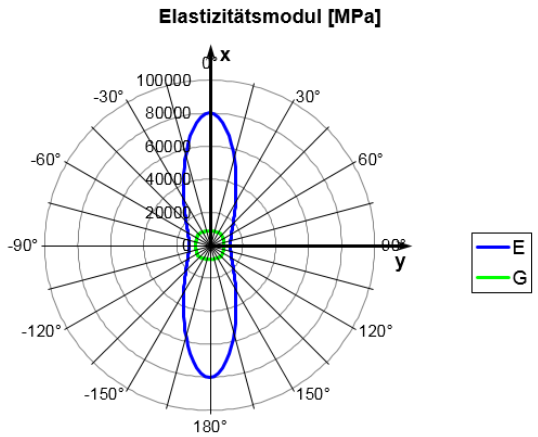
MOTIVATION.

- Schnelle und zerstörungsfreie Bestimmung von Polardiagrammen an ausgewählten Stellen <u>kompletter Bauteile.</u>

- Bestimmung der Faserorientierung (FO) auch an CF-SMC Bauteilen → Fließwege (mit Bildauswertung nicht möglich).

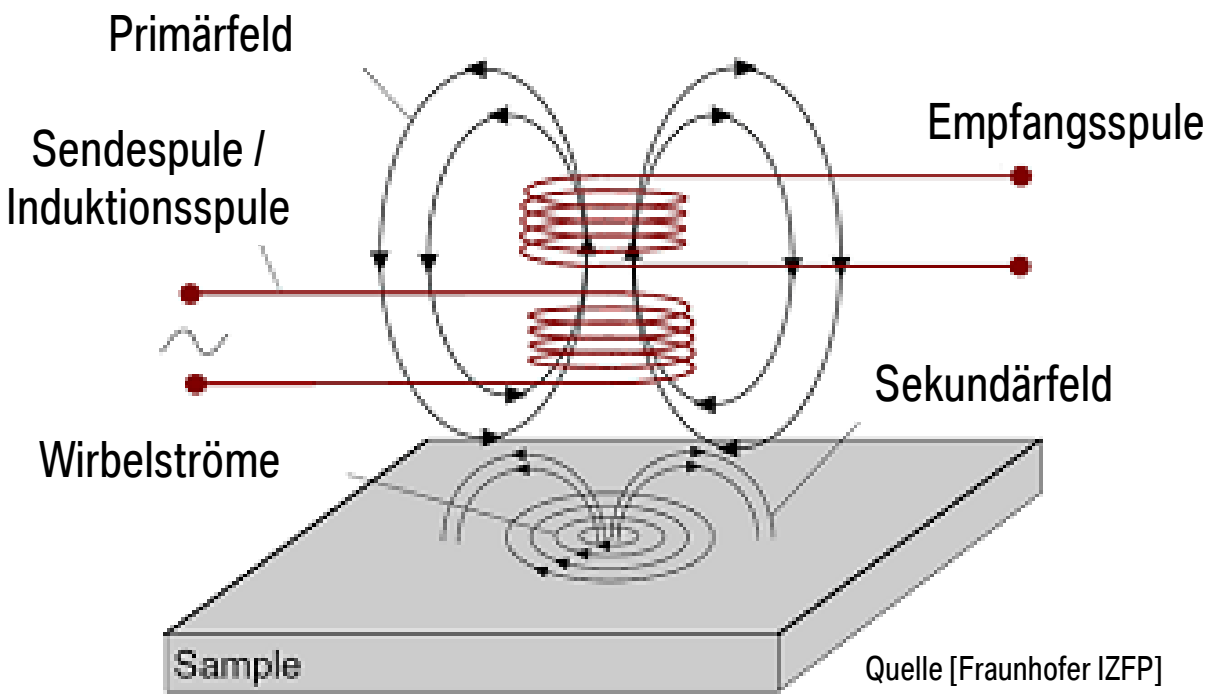
- Einfache Anwendung in der Produktion denkbar (keine besondere Sicherheitsmaßnahmen).



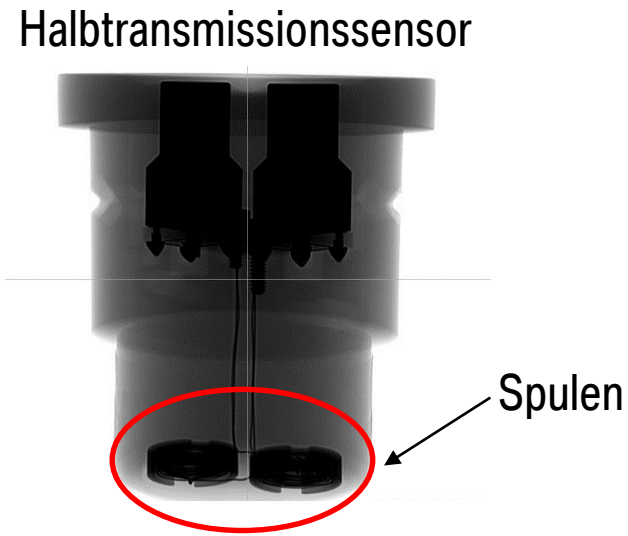


© BMW Group

PRINZIP DER WIRBELSTROMPRÜFUNG.



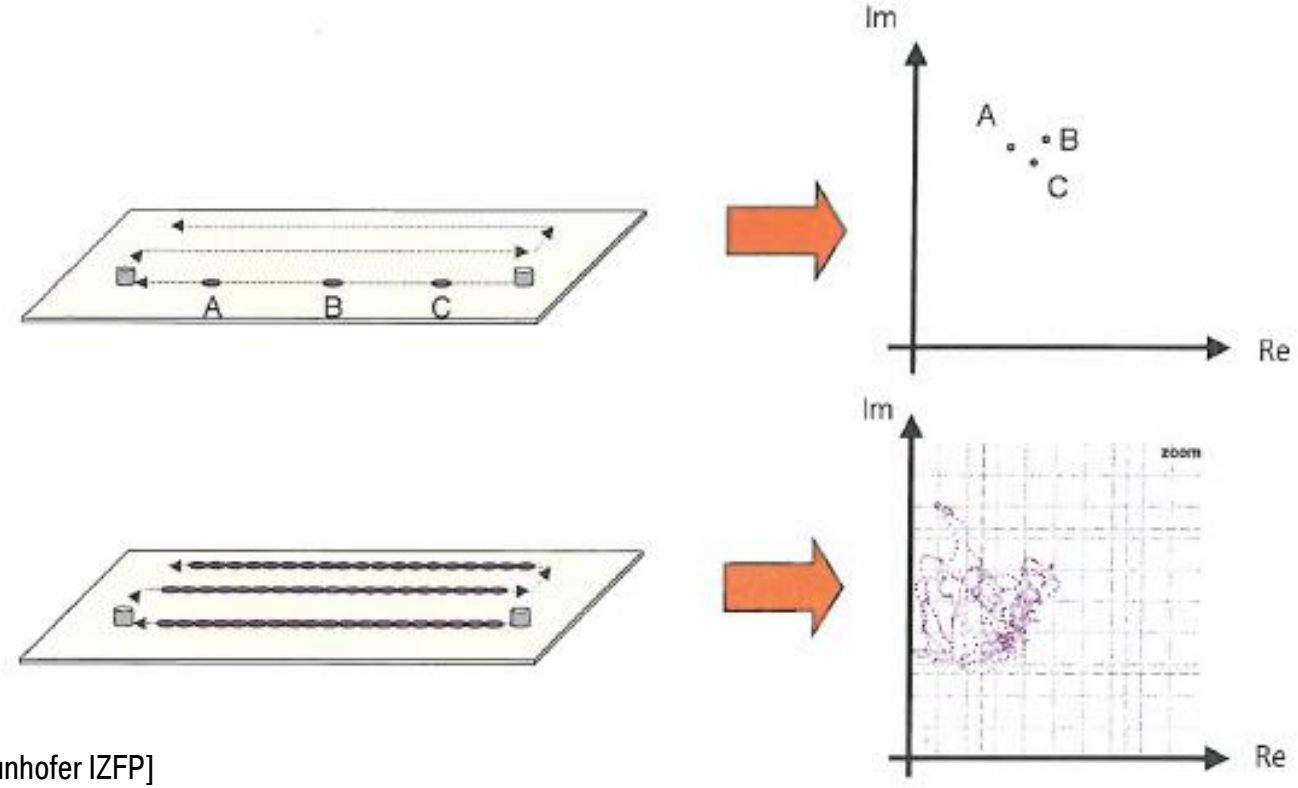
Quelle [Fraunhofer IZFP]



- Sendespule erzeugt → magnetisches Primärfeld
- Probe: entgegengesetztes → magnetisches Sekundärfeld
- Empfangsspule misst Phasenverschiebung zw. Primär-Sekundärfeld (Impedanz)

© BMW Group

MESSPRINZIP C-SCAN.

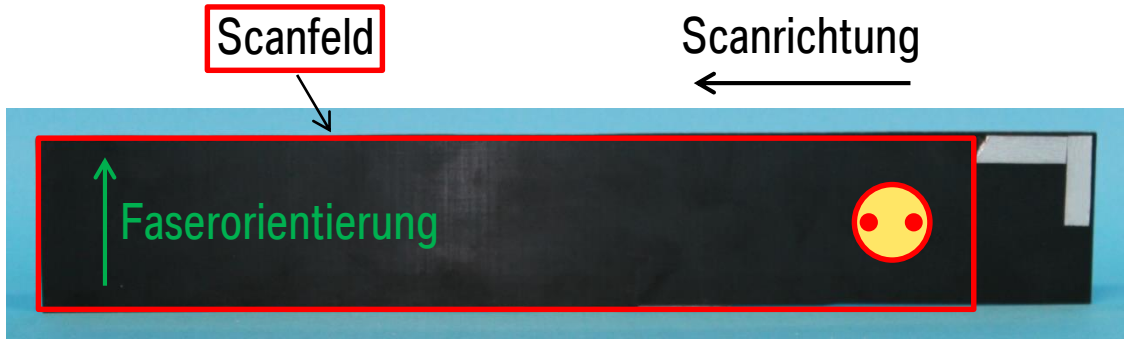


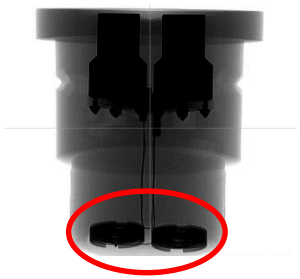
Quelle [Fraunhofer IZFP]

<u>C-Scan / C-Bild</u>: gemessene Impedanzwerte werden je nach Pixelpitch grauwertcodiert in die Ebene projiziert und als Grauwertbild dargestellt.

© BMW Group

MESSUNG UD-MATERIAL. ÜBERSICHT.





Messung 1 → **0°**

Messung 2 → **-45°**

Messung 3 → **+45°**

Messung 4 → **+90°**

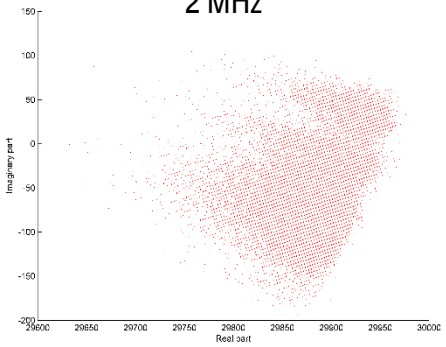
Mit je 4 verschiedenen Frequenzen

© BMW Group

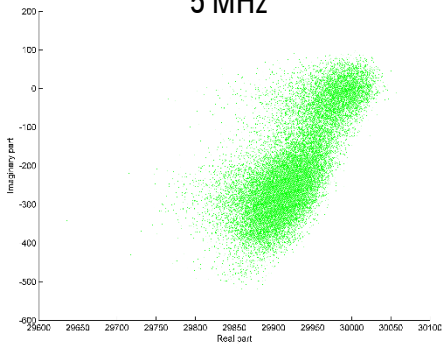
MESSUNG UD-MATERIAL. IMPEDANZPLOTS UND C-BILDER.

Sensorstellung: 0°

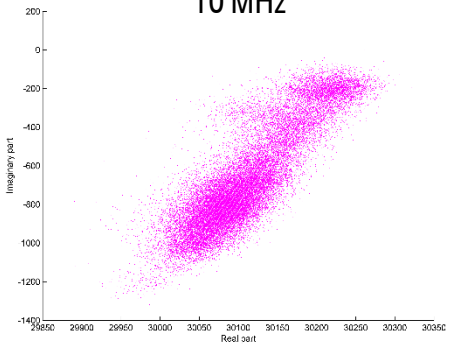
2 MHz



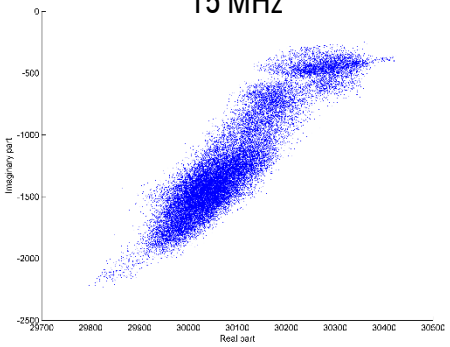
5 MHz



10 MHz

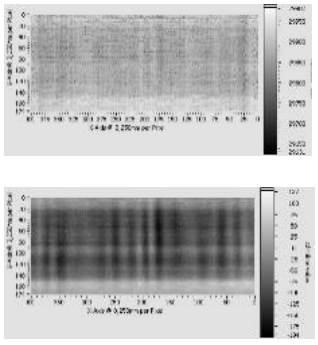


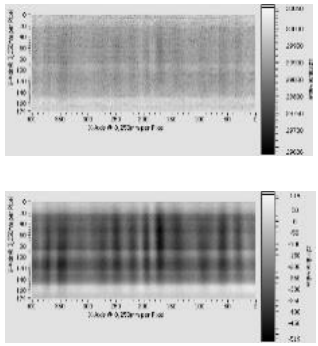
15 MHz

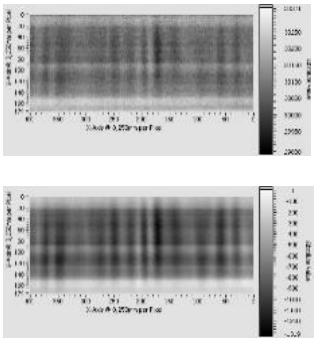


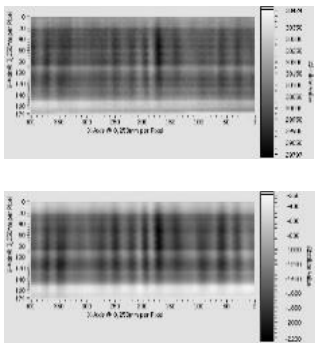
Real

Imag







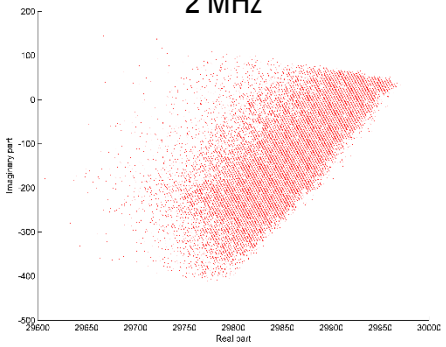


© BMW Group

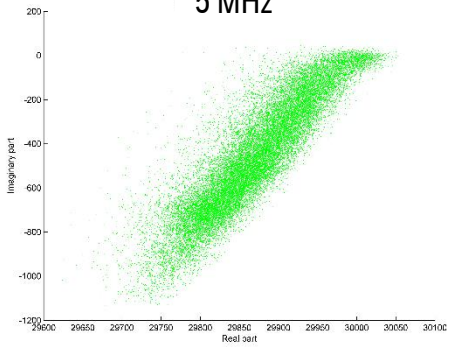
MESSUNG UD-MATERIAL. IMPEDANZPLOTS UND C-BILDER.

Sensorstellung: +45°

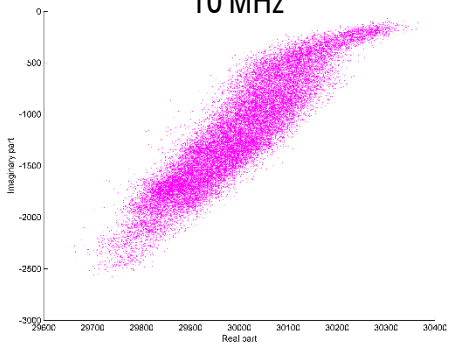
2 MHz



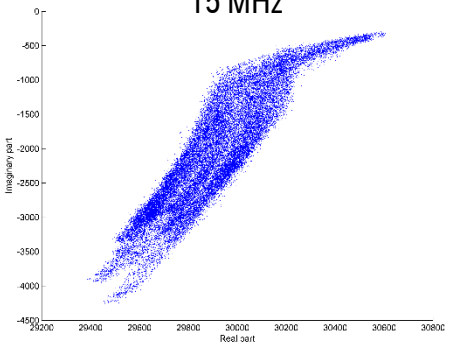
5 MHz



10 MHz

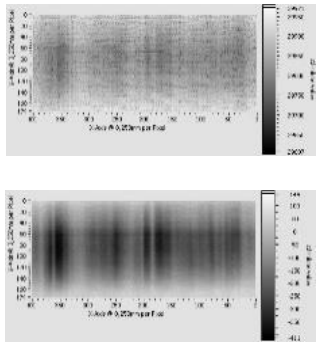


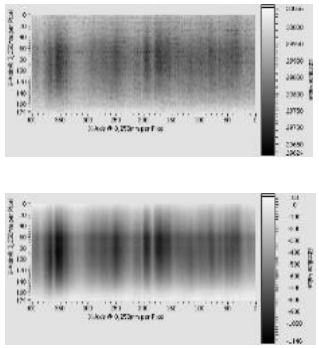
15 MHz

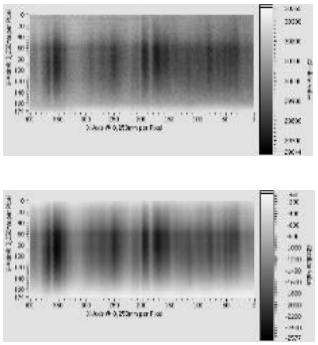


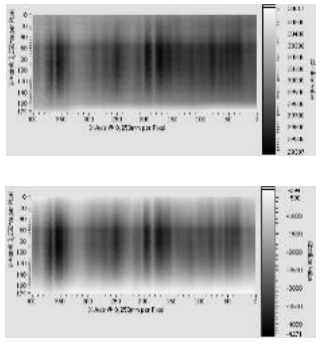
Real

Imag







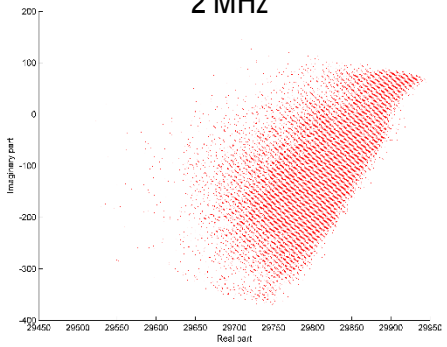


© BMW Group

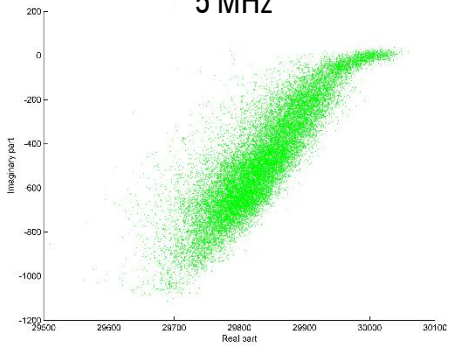
MESSUNG UD-MATERIAL. IMPEDANZPLOTS UND C-BILDER.

Sensorstellung: -45°

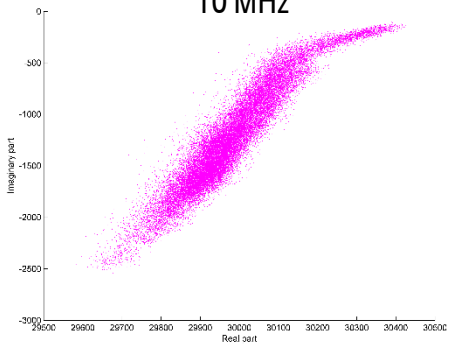
2 MHz



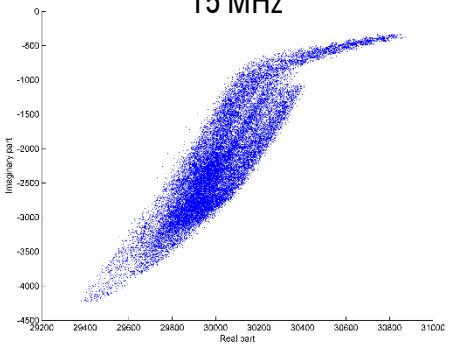
5 MHz



10 MHz

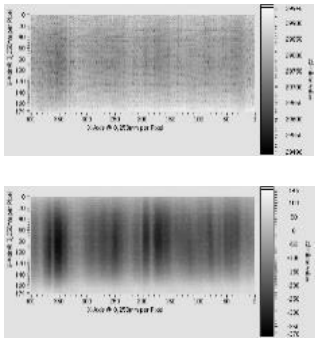


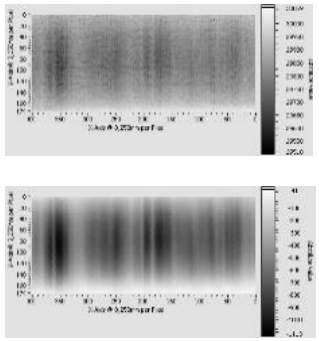
15 MHz

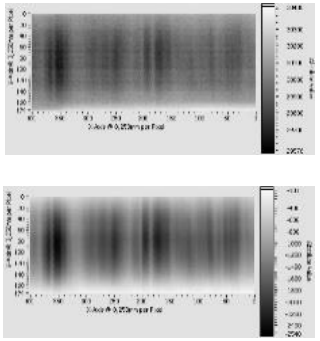


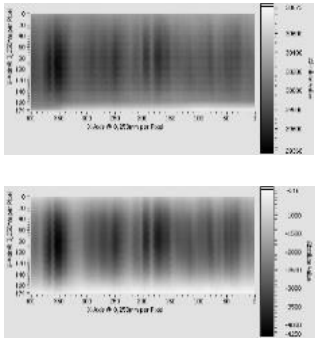
Real

Imag







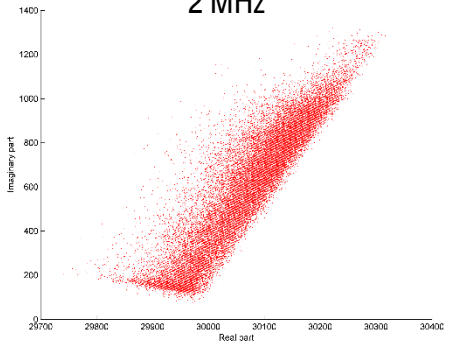


© BMW Group

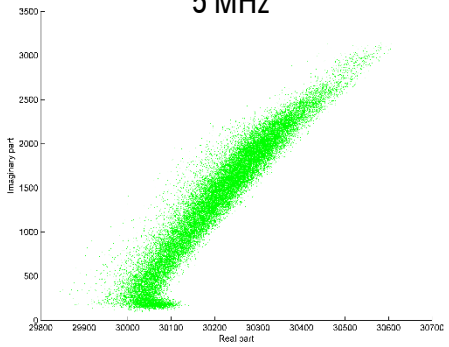
MESSUNG UD-MATERIAL. IMPEDANZPLOTS UND C-BILDER.

Sensorstellung: +90°

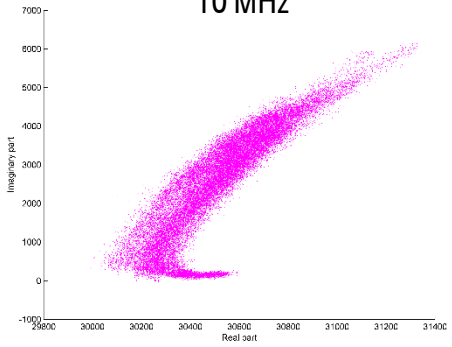
2 MHz



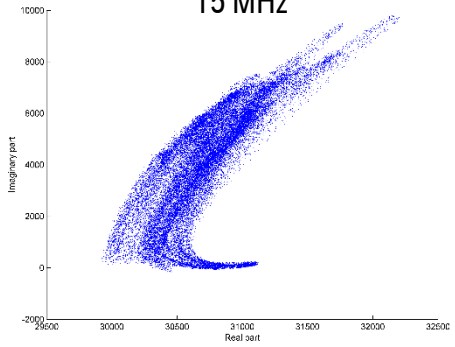
5 MHz



10 MHz

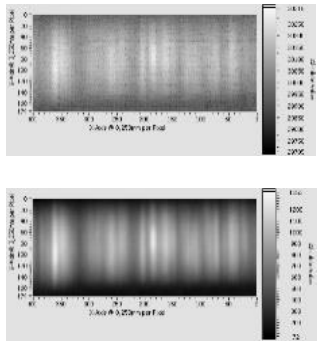


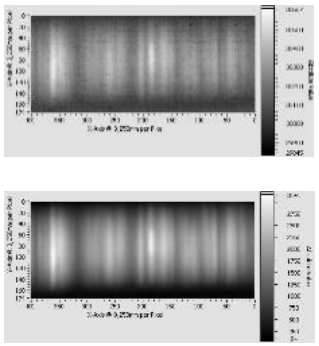
15 MHz

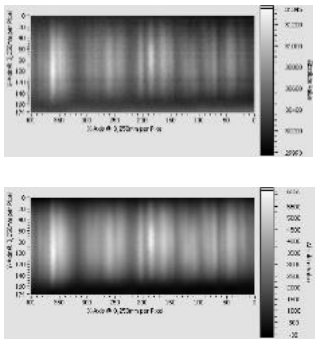


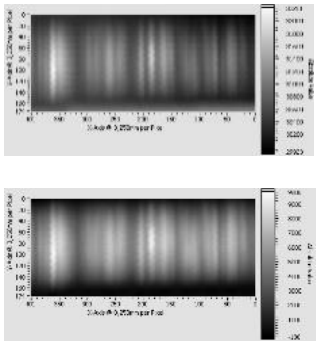
Real

Imag



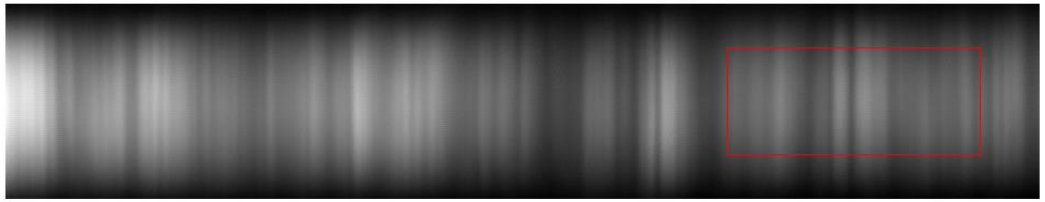


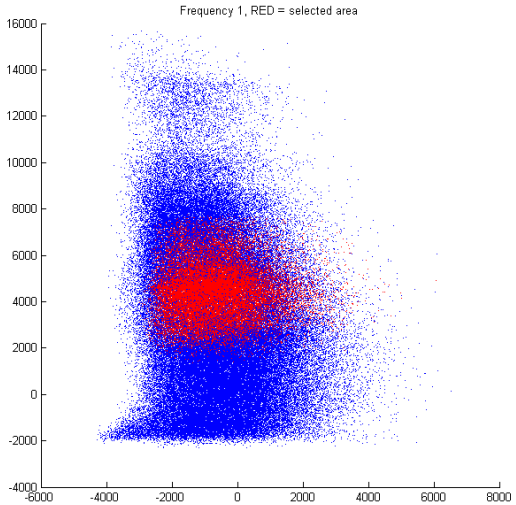




© BMW Group

MESSUNG UD-MATERIAL.
BESTIMMUNG DER FASERORIENTIERUNG.



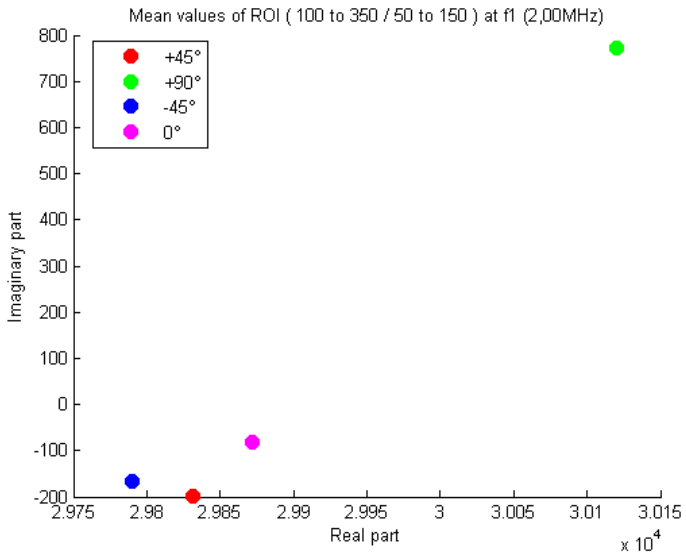


- Aus definiertem Bereich wird aus selektierten Messpunkten der Impedanzwolke sämtlicher Sensorstellungen je ein Mittelwert gebildet.
- Der Mittelwert wird als separater Punkt im Impedanzplot dargestellt.
- Bei Messungen mit verschiedenen Sensorstellungen ändert sich die Lage des Punktes in der Impedanzebene.

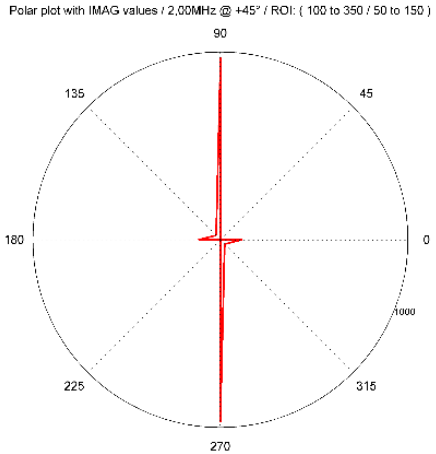
© BMW Group

MESSUNG UD-MATERIAL. IMPEDANZPLOT UND POLARDIAGRAMM.

Impedanzplot 2 MHz

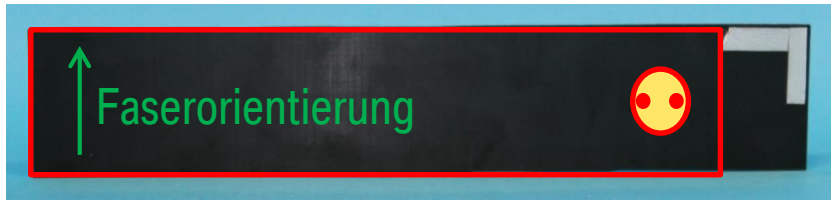


Polardiagramm 2MHz



Werte von Projektion auf Imaginärachse

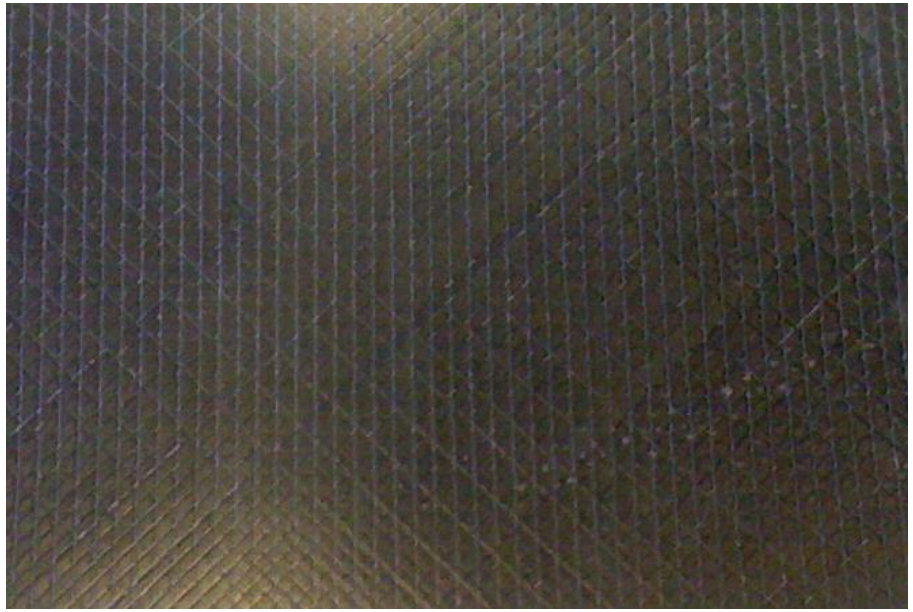
90°-Sensordrehung entspricht der 0°-Lage



© BMW Group

MESSUNG MD-PLATTE ±45°. ÜBERSICHT.

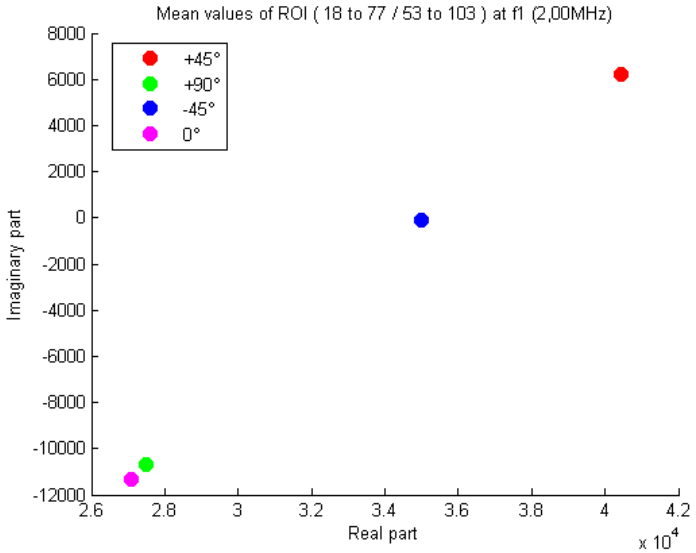
Lagenaufbau: [+45°; -45°]4S



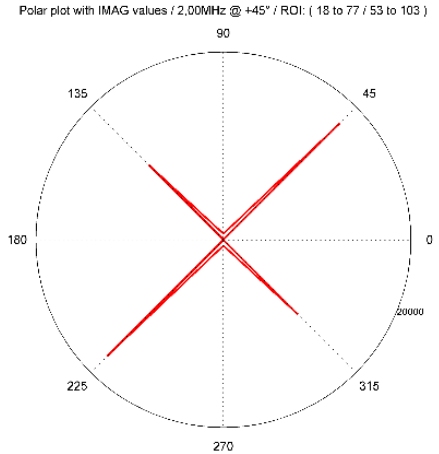
© BMW Group

MESSUNG MD-PLATTE.
IMPEDANZPLOT UND POLARDIAGRAMM.

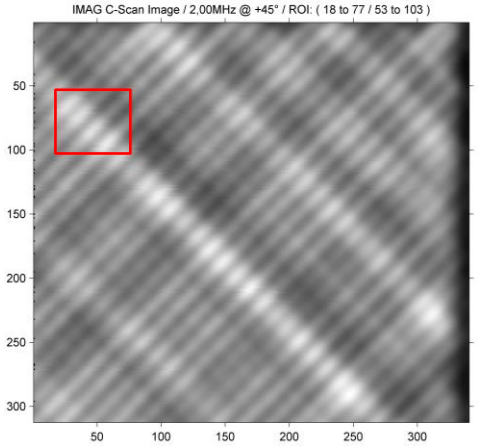
Impedanzplot 2 MHz



Polardiagramm 2MHz



Werte von Projektion auf Imaginärachse

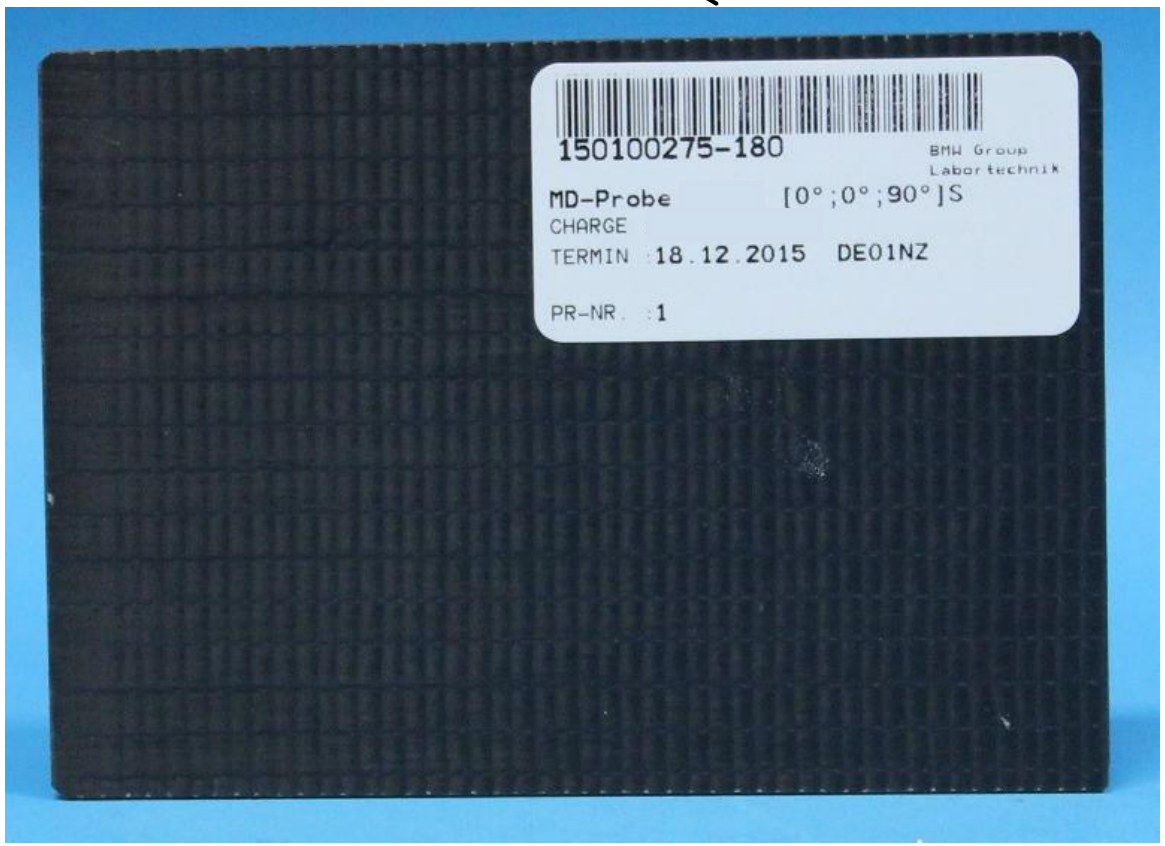


© BMW Group

MESSUNG MD-PLATTE 0°/90°. ÜBERSICHT.

Lagenaufbau: [0°; 90°; 90°]S

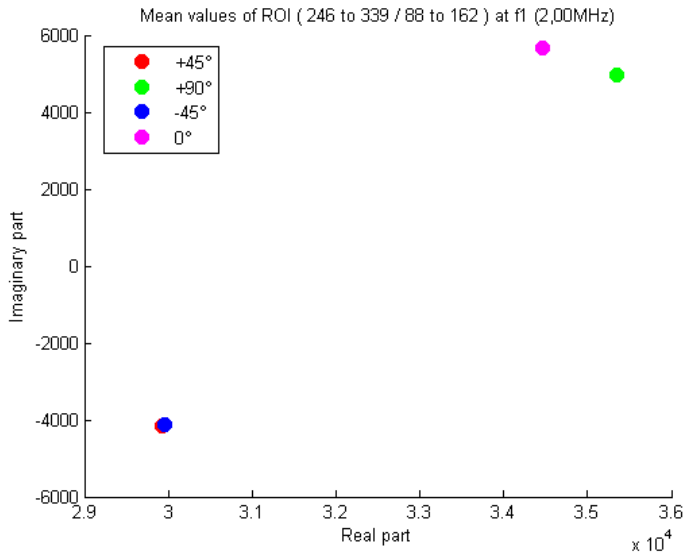
Scanrichtung = 0°-Richtung



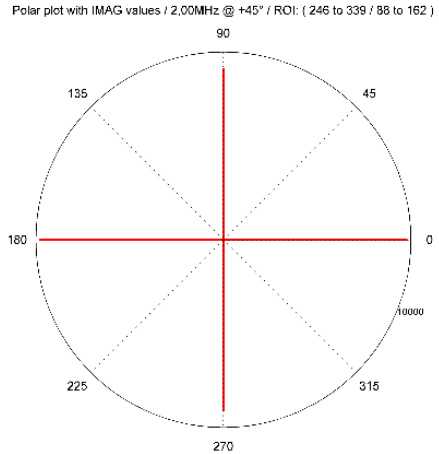
© BMW Group

MESSUNG MD-PLATTE 0°/90°. IMPEDANZPLOT UND POLARDIAGRAMM.

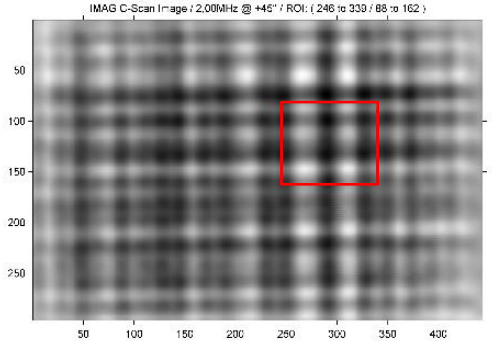
Impedanzplot 2 MHz



Polardiagramm 2MHz

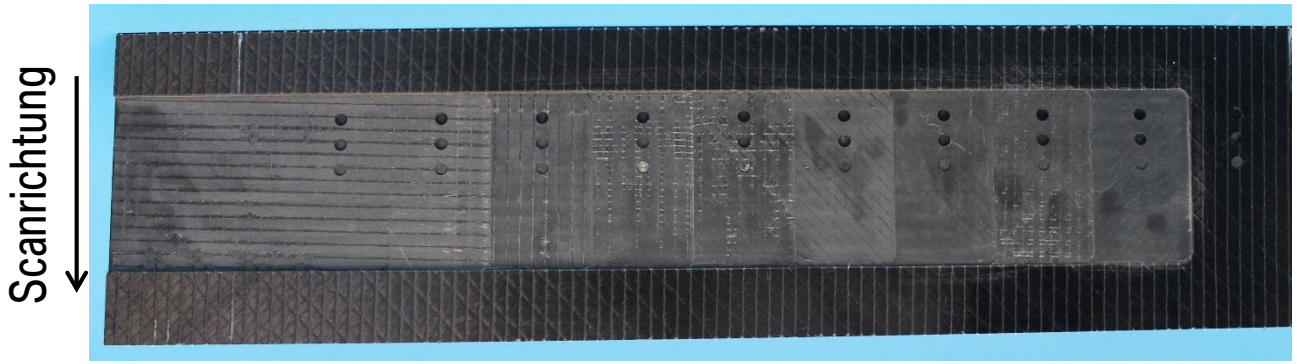


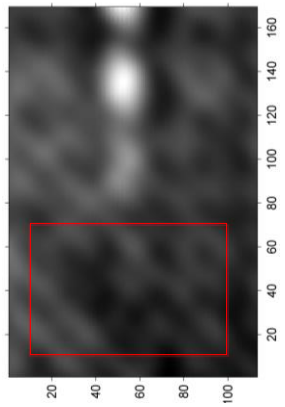
Werte von Projektion auf Imaginärachse



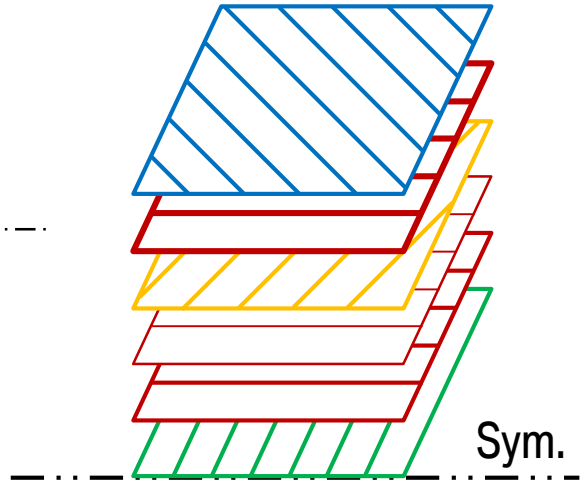
© BMW Group

MESSUNG STUFENKEIL MD. ÜBERSICHT.





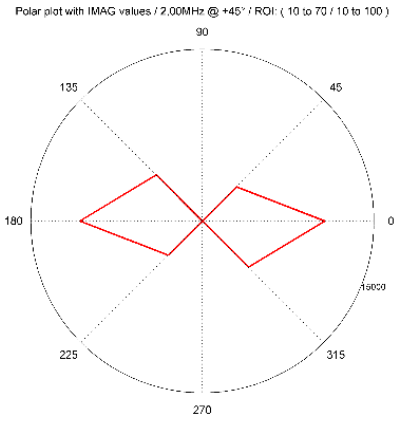
	Lage 1	+45° / 300 g/m²
	Lage 2	0° / 600 g/m²
	Lage 3	-45° / 300 g/m²
	Lage 4	0° / 150 g/m²
Sym.	Lage 5	0° / 300 g/m²
	Lage 6	90° / 300 g/m²
	Lage 7	0° / 300 g/m²
	Lage 8	0° / 150 g/m²
	Lage 9	-45° / 300 g/m²
	Lage 10	0° / 600 g/m²
	Lage 11	+45° / 300 g/m²



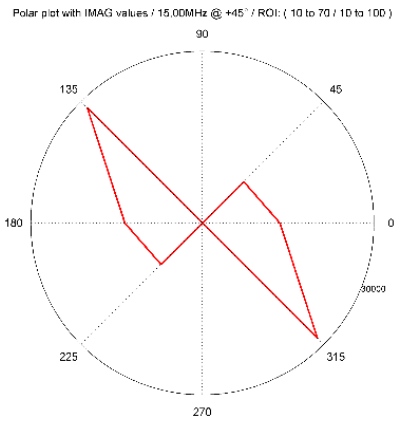
© BMW Group

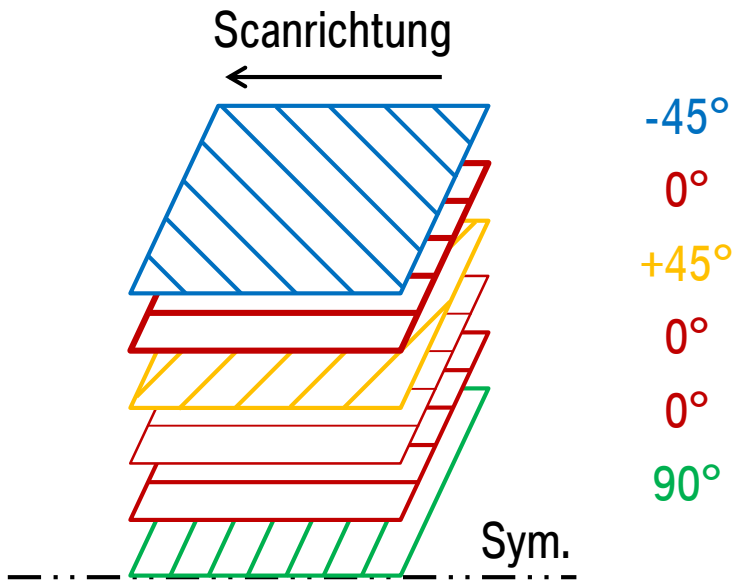
MESSUNG STUFENKEIL MD.
AUSWERTUNG SENSORDREHUNG STUFE 1.

2 MHz



15 MHz

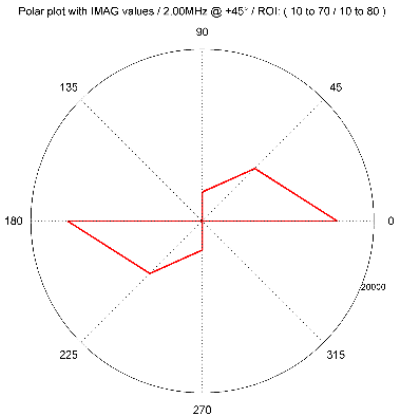




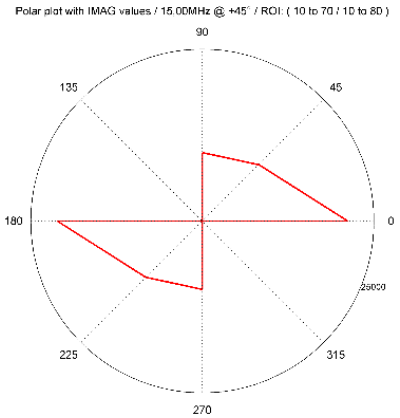
© BMW Group

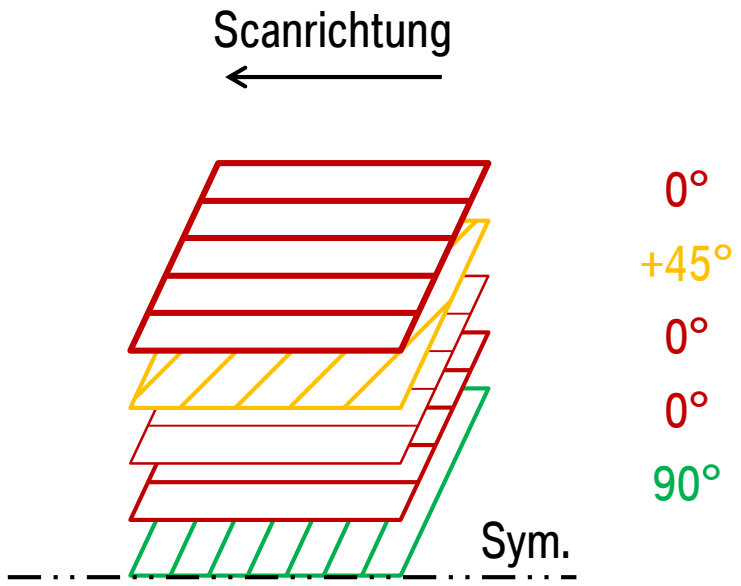
MESSUNG STUFENKEIL MD.
AUSWERTUNG SENSORDREHUNG STUFE 2.

2 MHz



15 MHz

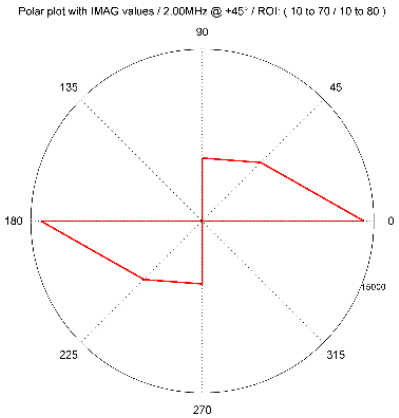




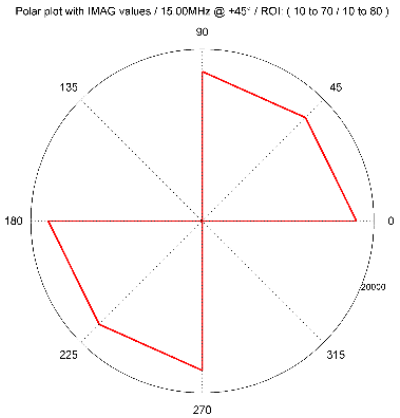
© BMW Group

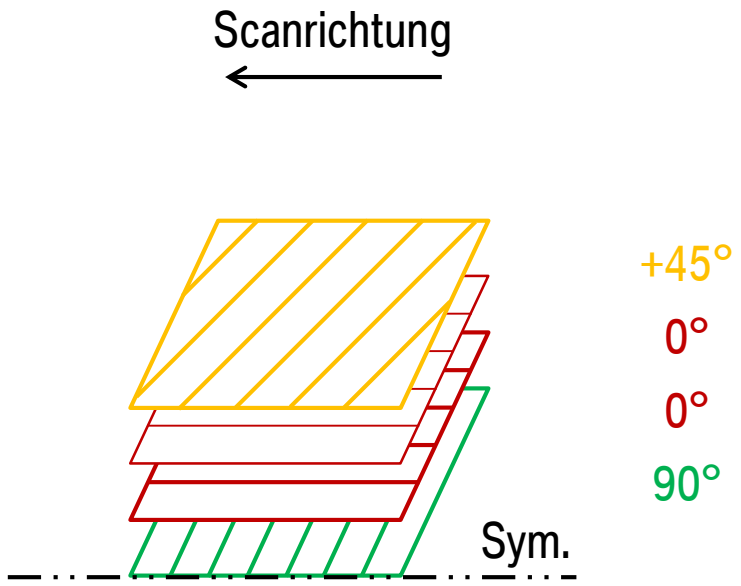
MESSUNG STUFENKEIL MD.
AUSWERTUNG SENSORDREHUNG STUFE 3.

2 MHz



15 MHz

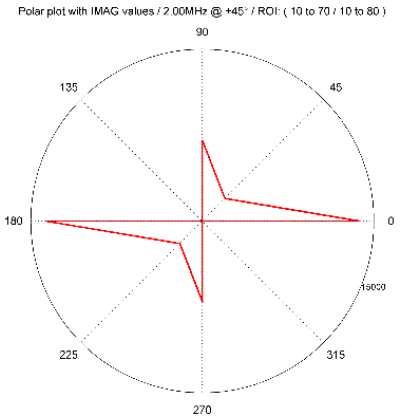




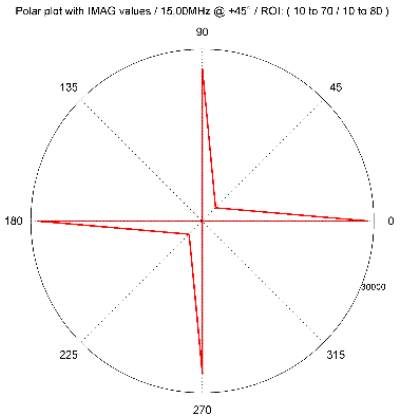
© BMW Group

MESSUNG STUFENKEIL MD.
AUSWERTUNG SENSORDREHUNG STUFE 4.

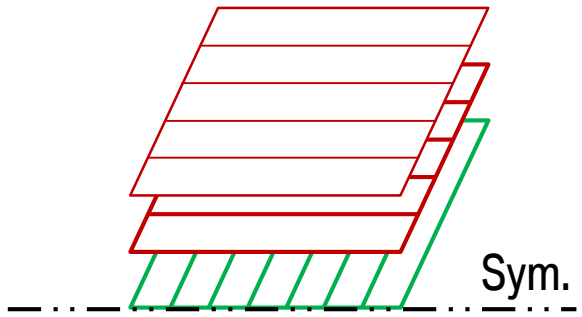
2 MHz



15 MHz



Scanrichtung



0°

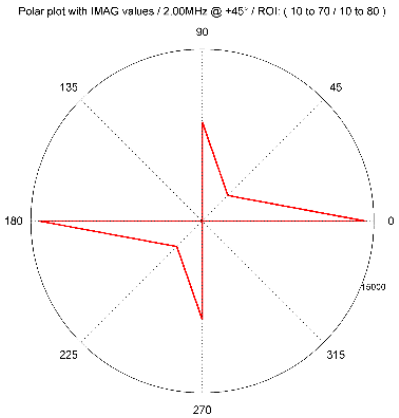
0°

90°

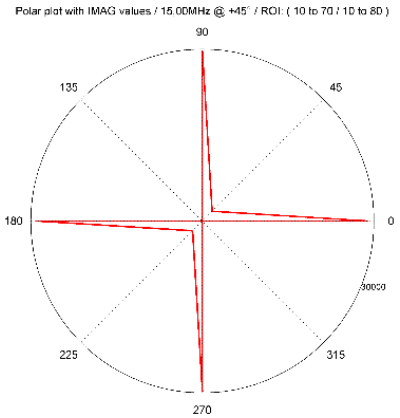
© BMW Group

MESSUNG STUFENKEIL MD.
AUSWERTUNG SENSORDREHUNG STUFE 5.

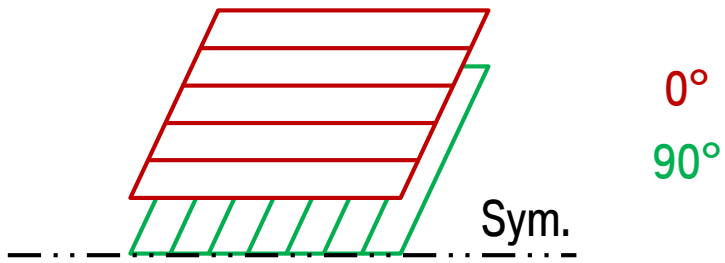
2 MHz



15 MHz



Scanrichtung



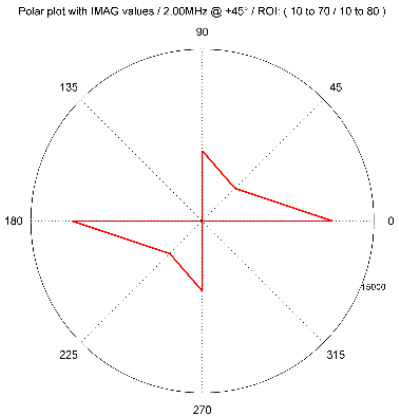
0°

90°

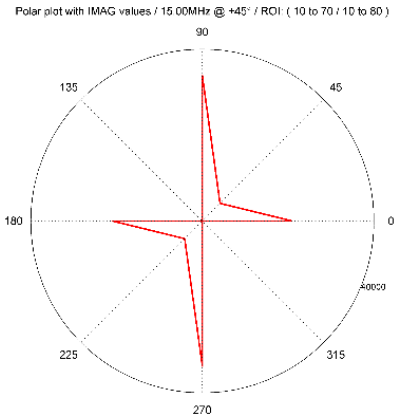
© BMW Group

MESSUNG STUFENKEIL MD.
AUSWERTUNG SENSORDREHUNG STUFE 6.

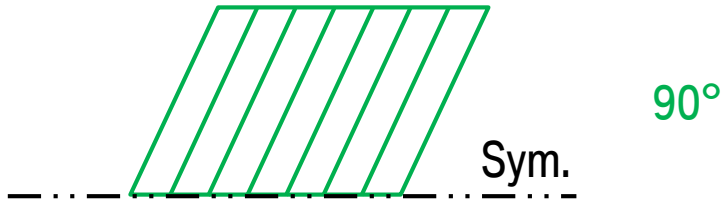
2 MHz



15 MHz



Scanrichtung



90°

© BMW Group

MESSUNGEN UD-/MD-MATERIALIEN. FAZIT.

- Die größten Ausschläge in den Polardiagrammen geben in allen Fällen den Lagenaufbau wieder.

- Anhand der Messung des Stufenkeils ist gut zu erkennen, inwiefern die Eindringtiefe von der Frequenz abhängig ist.

- Da diese Messungen an UD- und MD-Materialien gute Ergebnisse lieferten, wird der Auswertealgorithmus im nächsten Schritt auf Messungen an CF-SMC angewendet.

© BMW Group

MESSUNG PLATTE CF-SMC. ÜBERSICHT.

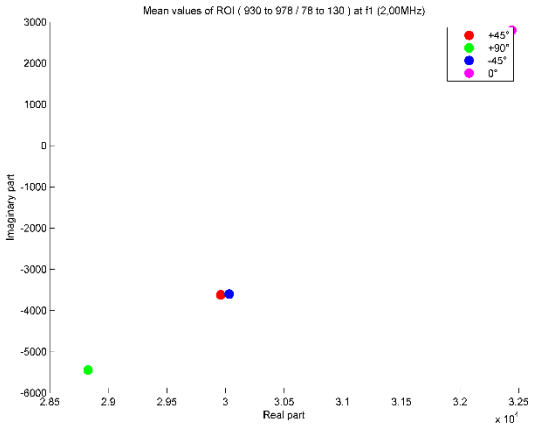
Scanrichtung

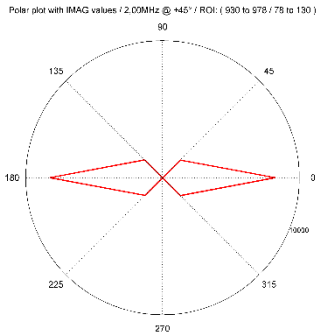
CF-SMC: Carbon Fiber – Sheet Molding-Compound

© BMW Group

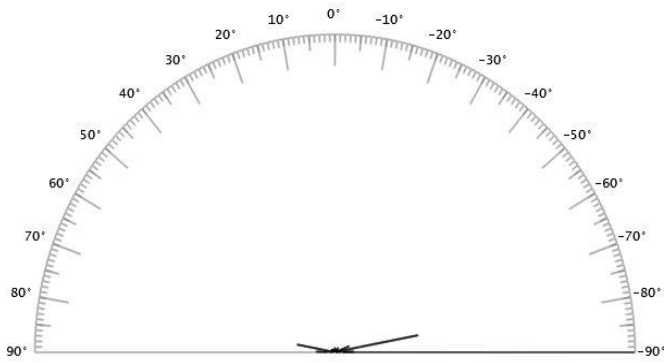
MESSUNG PLATTE CF-SMC.
AUSWERTUNG FASERORIENTIERUNG FELD A1 2MHZ.

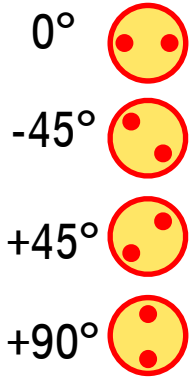
Auswertung Sensordrehung

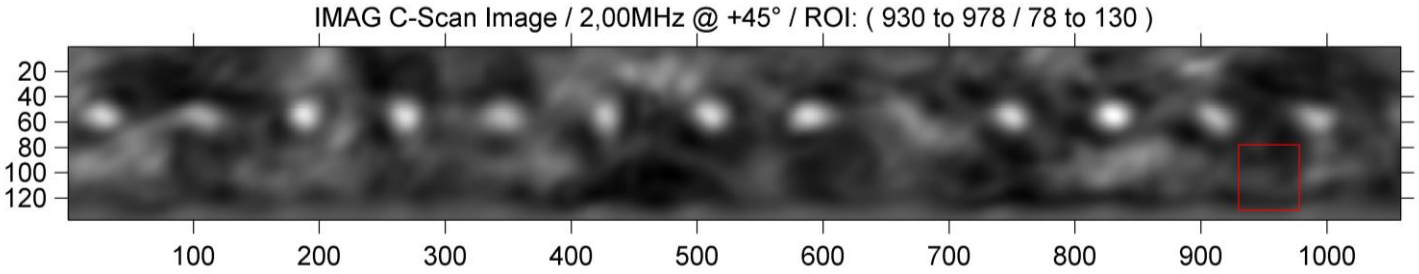




Bildauswertung



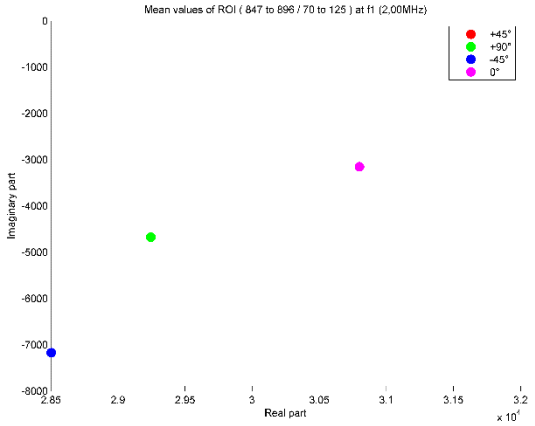


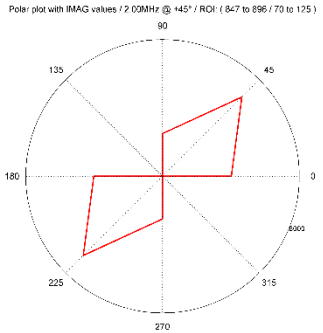


© BMW Group

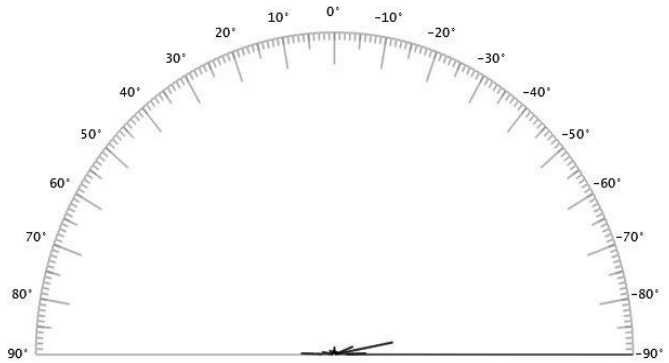
MESSUNG PLATTE CF-SMC.
AUSWERTUNG FASERORIENTIERUNG FELD A2 2MHZ.

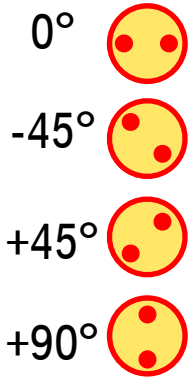
Auswertung Sensordrehung

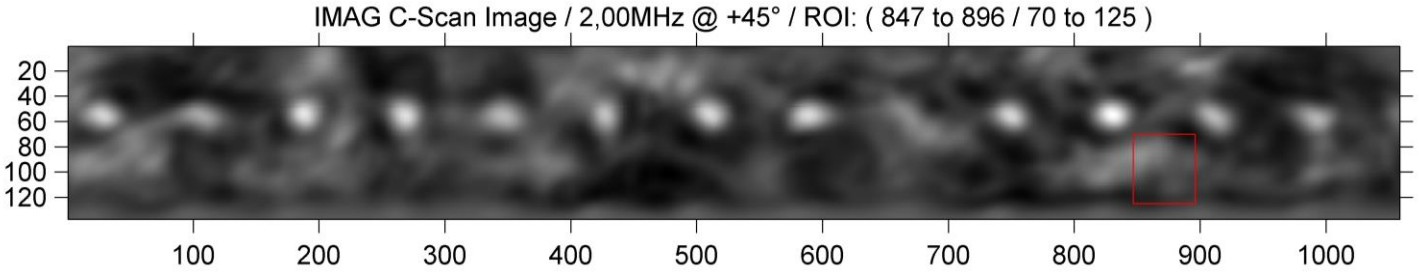




Bildauswertung





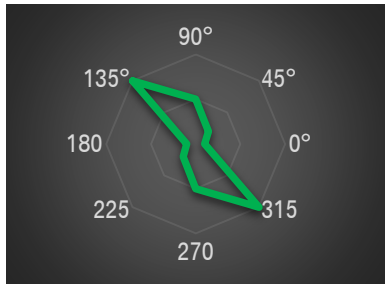


© BMW Group

MESSUNG PLATTE CF-SMC.
VERGLEICH MESSUNG VORDER-/RÜCKSEITE.

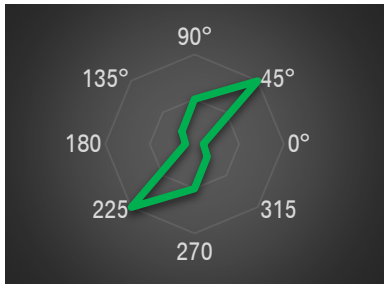
- Es werden Messungen von der Vorderseite mit Messungen von der Rückseite verglichen.
- Ziel ist es, die Frequenz zu ermitteln, bei der Eindringtiefe ≥ Probendicke → Vermutung: Übereinstimmung der gemessenen Orientierung.

Vorderseite



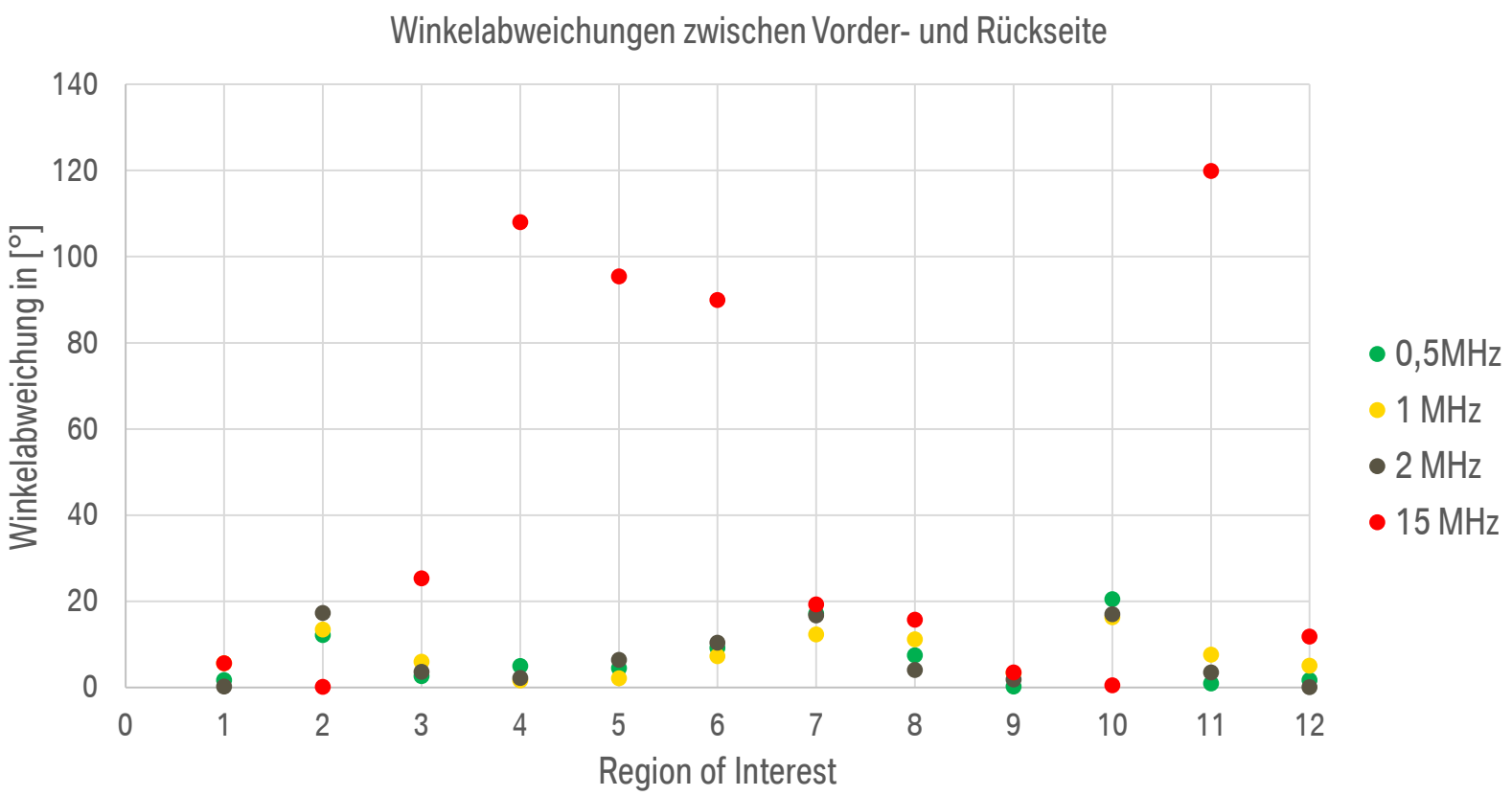
gleiche Orientierung bei

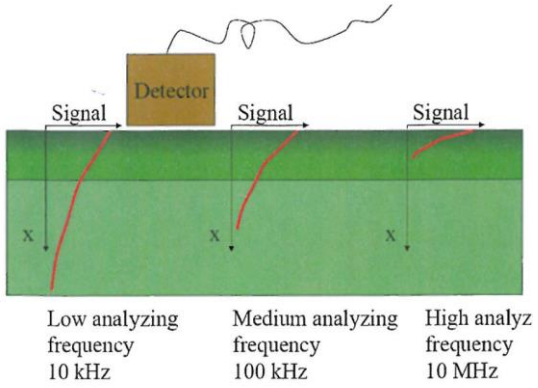
vorder- u. rückseitiger Messung



© BMW Group

MESSUNG PLATTE CF-SMC.
VERGLEICH MESSUNG VORDER-/RÜCKSEITE.





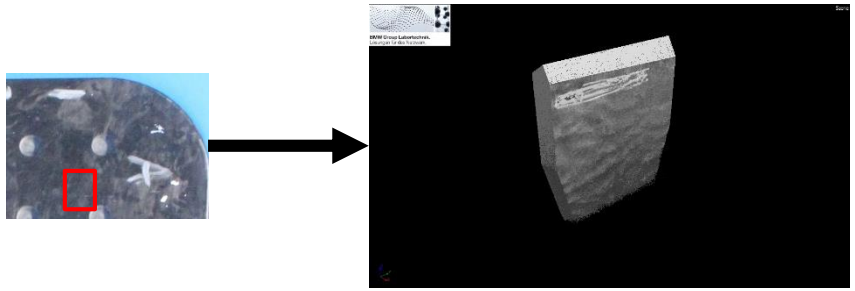
Quelle: Schulung EddyCus MPECS Fraunhofer IKTS

Aufgrund des abnehmenden Signals mit der Tiefe (Funktion 1/e, vgl. Abb. unten) kann auch mit einer niedrigen Frequenz und einer vollständigen Durchdringung des Materials keine 100%ige Übereinstimmung der Polardiagramme erreicht werden.

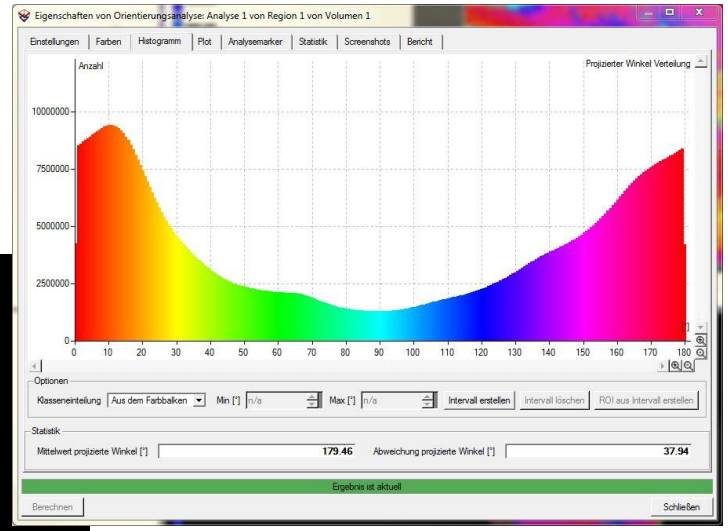
© BMW Group

MESSUNG PLATTE CF-SMC.
AUSWERTUNG CT MESSUNG MIT FASERTOOL.

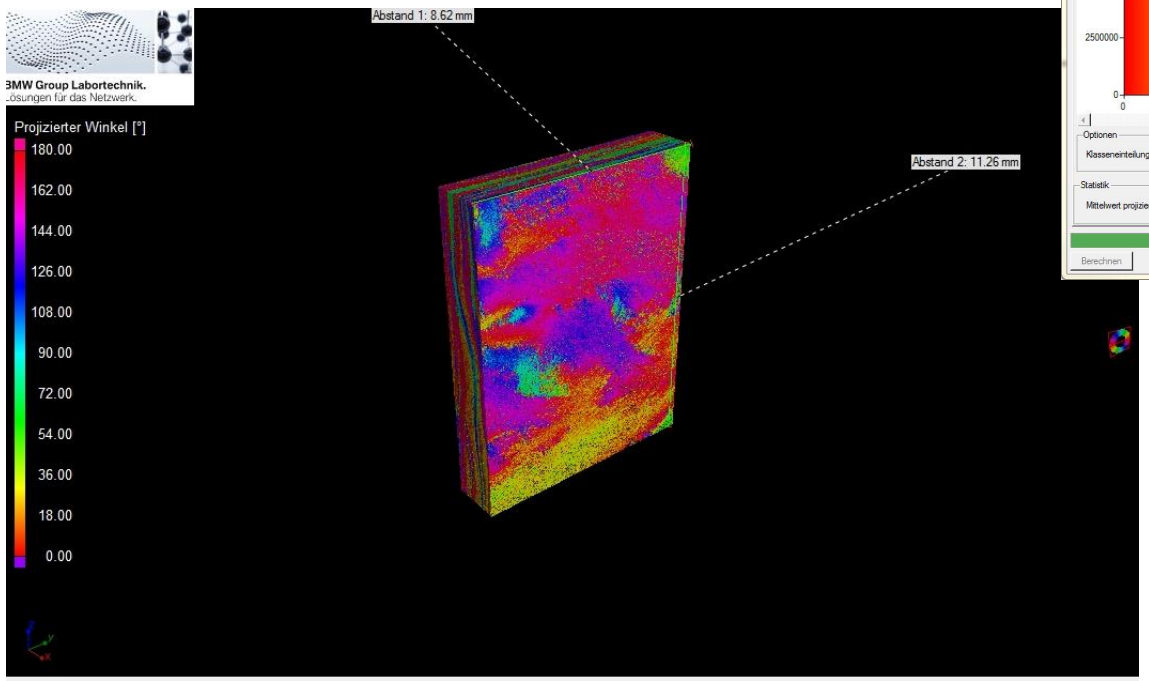
Gescanntes Volumen



Histogramm



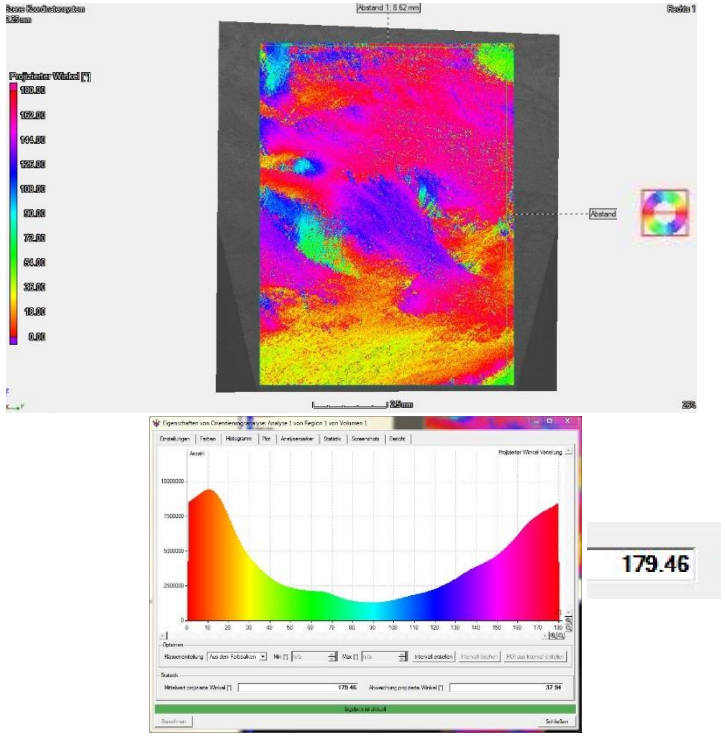
Orientierungsanalyse



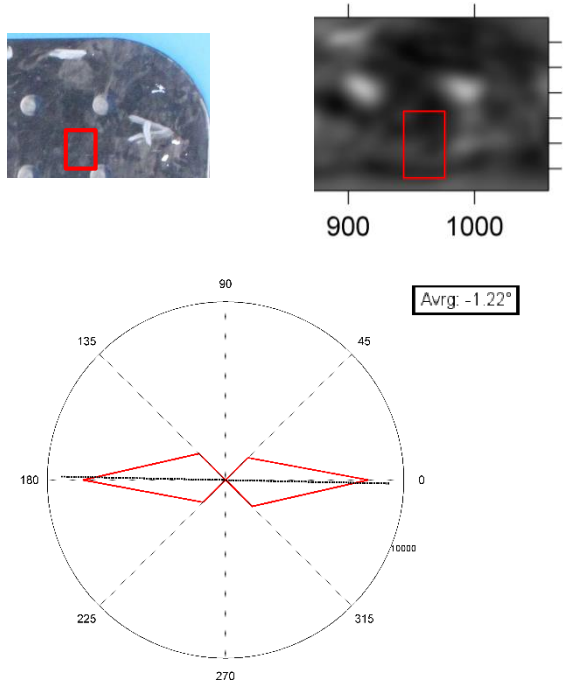
© BMW Group

MESSUNG PLATTE CF-SMC.
VERGLEICH CT – ET – AUSWERTUNG A1.

CT-Winkelauswertung



ET-Winkelauswertung 2MHz

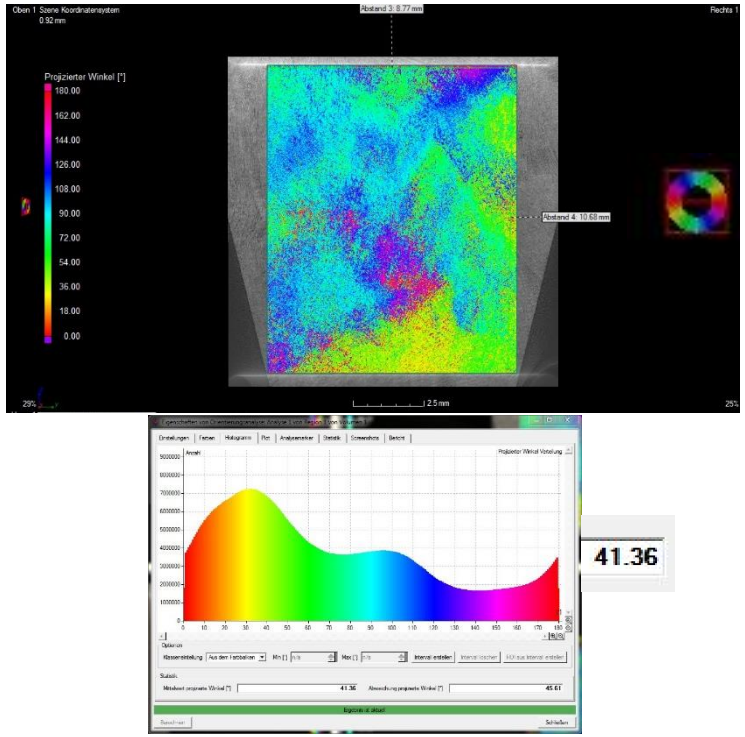


<u>FAZIT:</u>
Sehr gute Übereinstimmung zwischen CT-Auswertung und Polardiagramm aus ET-Messung mit 2 MHz

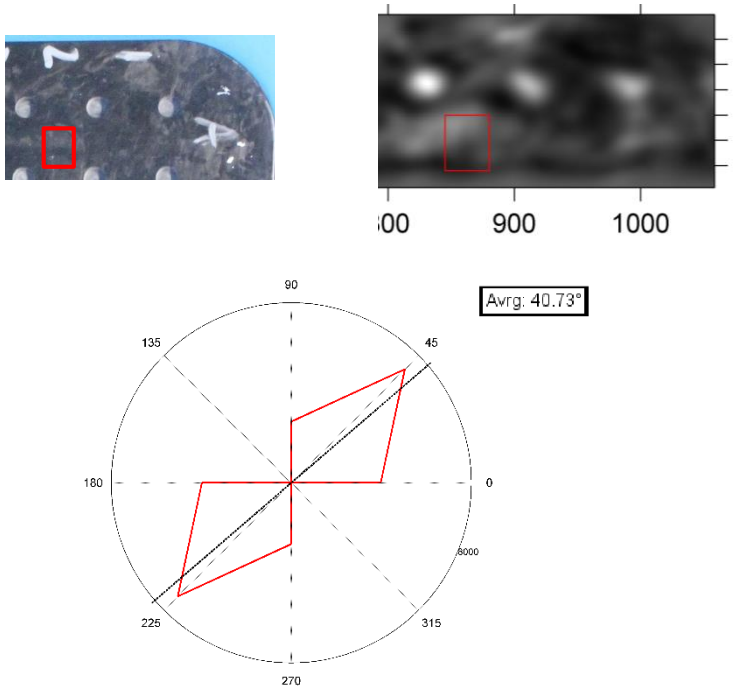
© BMW Group

MESSUNG PLATTE CF-SMC.
VERGLEICH CT – ET – AUSWERTUNG A2.

CT-Winkelauswertung



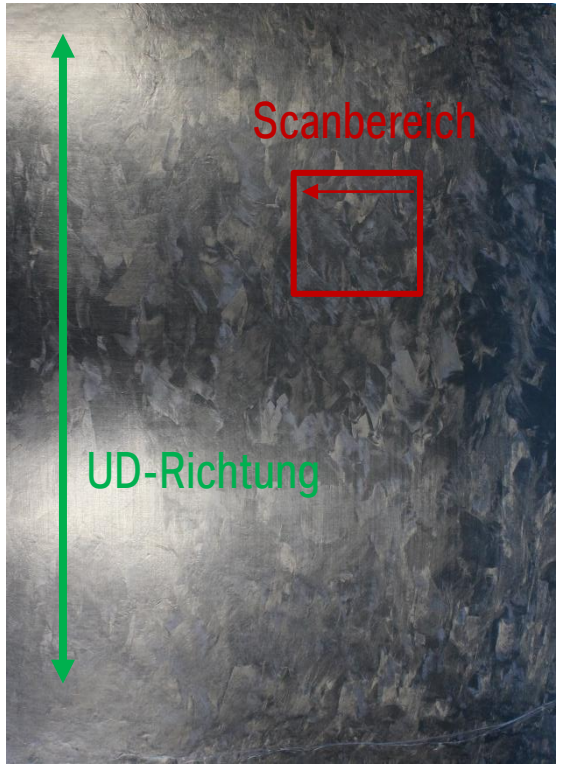
ET-Winkelauswertung 2MHz



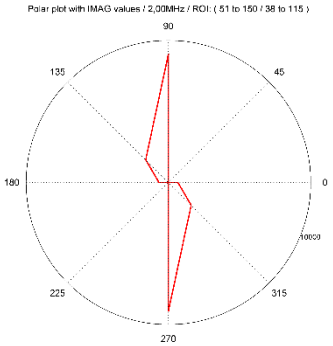
<u>FAZIT:</u>
Sehr gute Übereinstimmung zwischen CT-Auswertung und Polardiagramm aus ET-Messung mit 2 MHz

© BMW Group

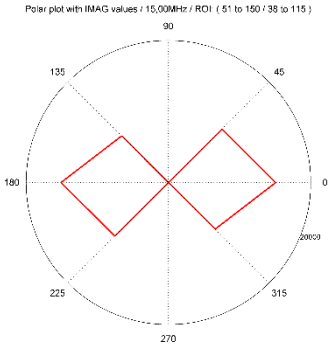
MESSUNG CF-SMC MIT UD-LAGE. ÜBERSICHT.

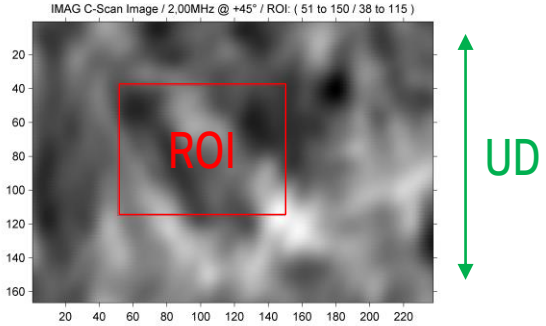


2 MHz



15 MHz





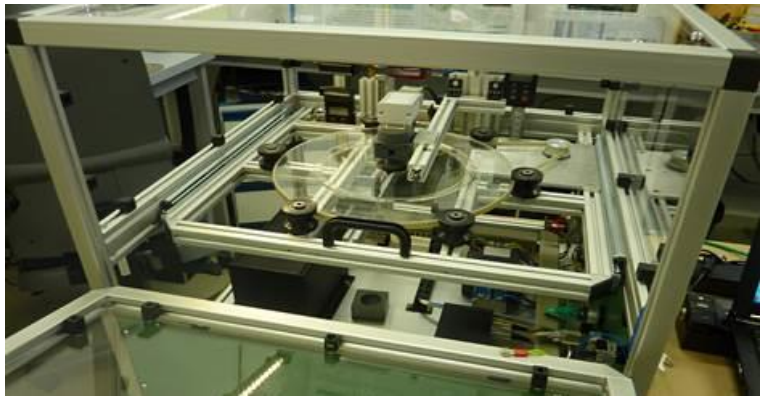
FAZIT:

- Die UD-Lage ist bei 2 MHz im Polardiagramm deutlich zu erkennen
- Bei 15 MHz ist die Eindringtiefe zu gering, sodass die UD-Lage nicht mehr zu detektieren ist.

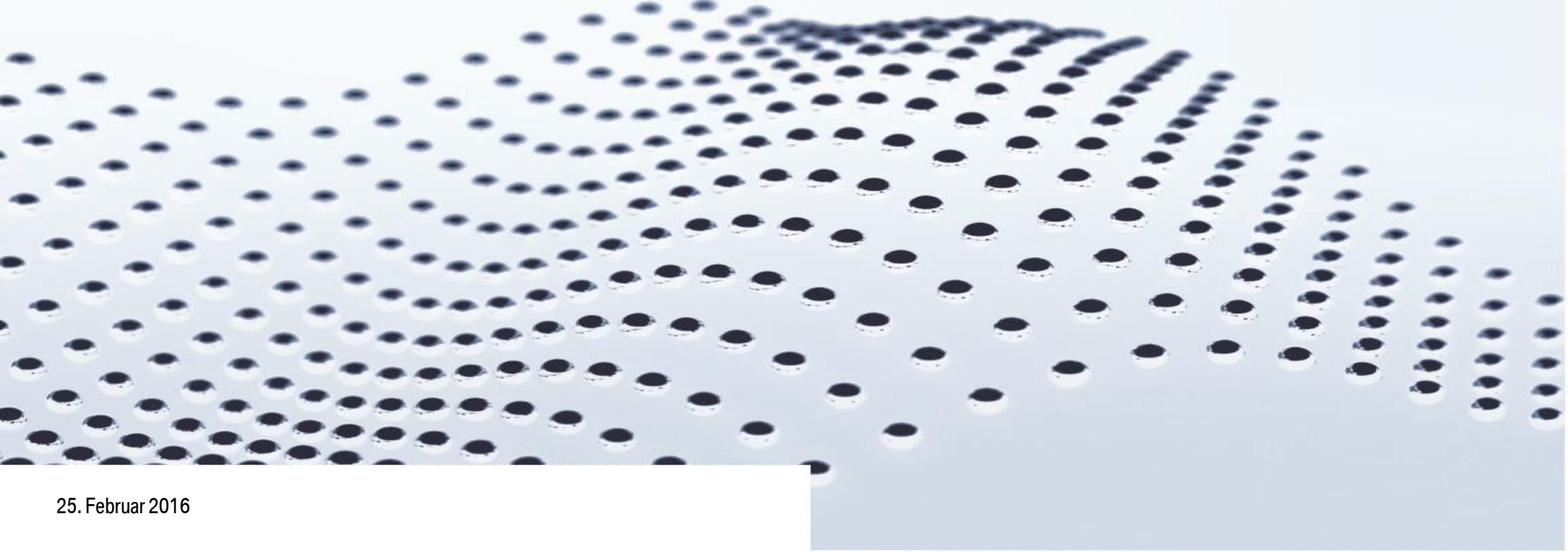
© BMW Group

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE. VORTEILE ZUM STAND DER TECHNIK.

- Berechnung von Polardiagrammen an <u>kompletten Flächenscans</u> → eigener Algorithmus zur Impedanzauswertung.
- Darstellung der Anisotropie möglich.
- Mit Polardiagrammen sind mehrere Richtungen darstellbar.
- Ermittlung einer geeigneten Signalverarbeitung.
- Validierung mittels CT.
- Erste erfolgreiche Übereinstimmungen mit CT-Ergebnissen → Genauigkeit von +/- 1 grad.
- Entwicklung eines Wirbelstromrotationsprüfstandes



© BMW Group



25. Februar 2016

VIELEN DANK FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT.

Dipl.-Ing (FH)
Matthias Ulrich
Methodenentwicklung ZfP

Tel.: +49-89-382-56426
matthias.ulrich@bmw.de

Technische Integration
Labortechnik München Nichtmetall - ZfP
80788 München, Petuelring 130

A major part of this paper was supported via a grant by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) in the frame of project MAIzfp within the leading edge cluster MAI Carbon (http://www.mai-carbon.de).

BMW GROUP

INVENTED IN GERMANY

GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung

Gefördert durch Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

M·A·I CARBON

Rolls-Royce Motor Cars Limited