

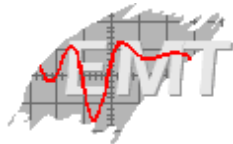
Session: Mess- & Sensortechnik

Feuchtemessung mittels Ultrabreitband - Messtechnik

Frank Bonitz, Klaus Kupfer, Kai Schilling, Jürgen Sachs



Materialforschungs- und -prüfanstalt an
der Bauhaus-Universität Weimar



Technische Universität Ilmenau
Elektronische Messtechnik



Überblick

1. Einführung
2. Stand der Technik
3. Messverfahren
4. Rekonstruktion von Permittivitätsprofilen
5. Materialkalibrierung
6. Ermittlung von Feuchteprofilen
7. Zusammenfassung

Einführung



Deich
Vehra / Unstrut

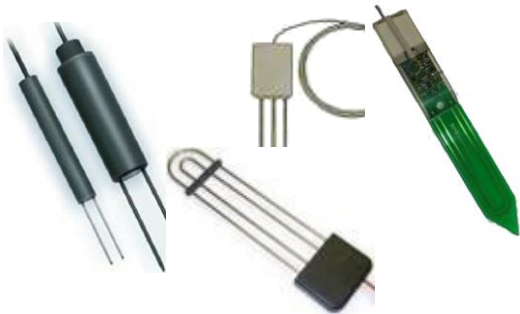


Lysimeter,
Buttelstedt

- Räumliche Feuchteprofilmessung in Hochwasserschutzbauten und auf landwirtschaftlichen Nutzflächen
- „Wasserverbrauch durch die Landwirtschaft, Industrie und Haushalt belasten das Erdklima stärker wie angenommen“ [1]
 - ➔ Ein nachhaltiger und gezielter Umgang mit der Ressource Wasser wird empfohlen

[1] Nature Climate Change Volume: 1,
Pages: 210–219 (26 June 2011)

Stand der Technik



Einstechsonden für Zeitbereichsreflektometrie - Messungen (TDR)



Neutronensonde
[Quelle: SaarTro GbR]



Tensiometer [Quelle: UMS GmbH]



Flachbandkabelsensor

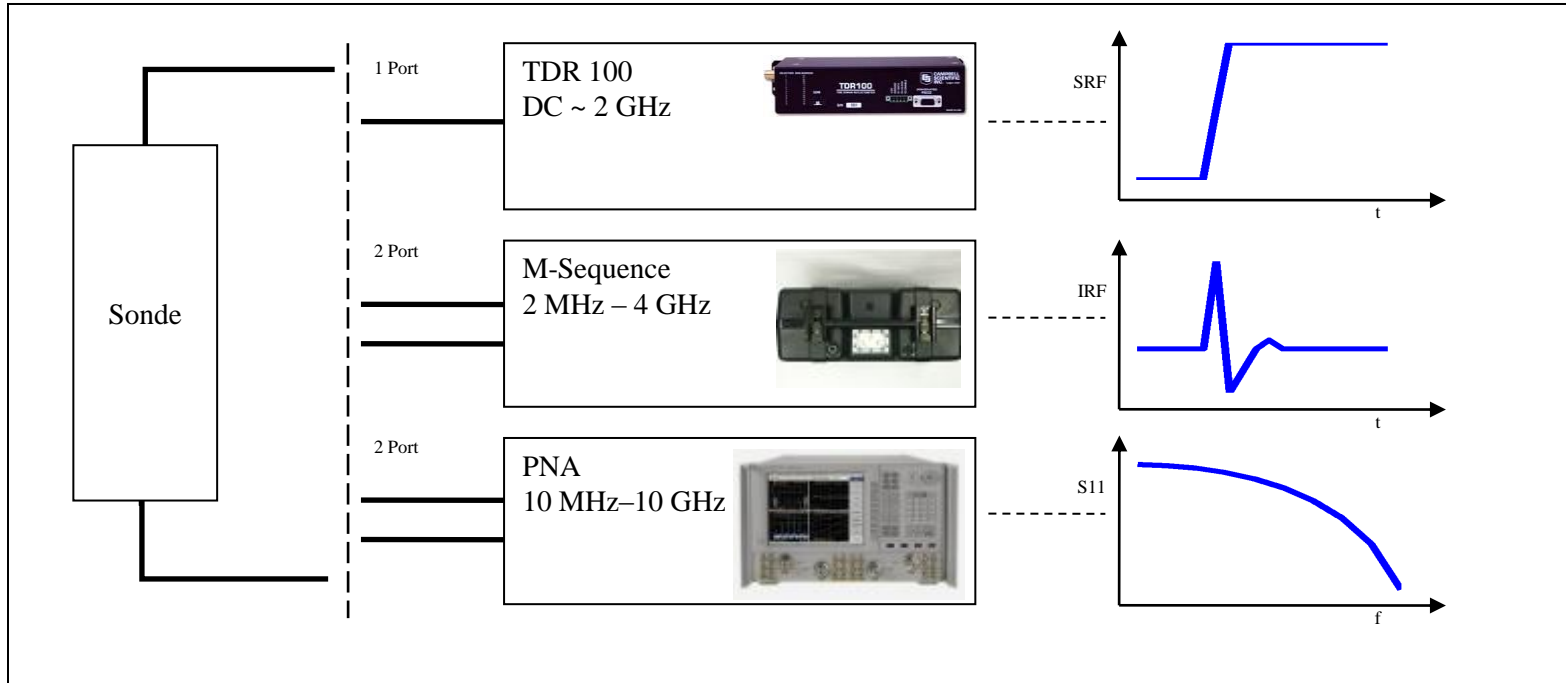


TDR 100 [Quelle: Campbell Scientific]



Eingebrachter 3 m langer Kabelsensor

Messverfahren



Flachbandkabel

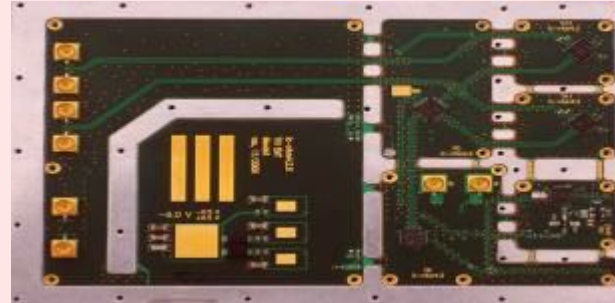


Zylindersonde

Messverfahren -UWB Prototyp-



Digitalelektronik [1]

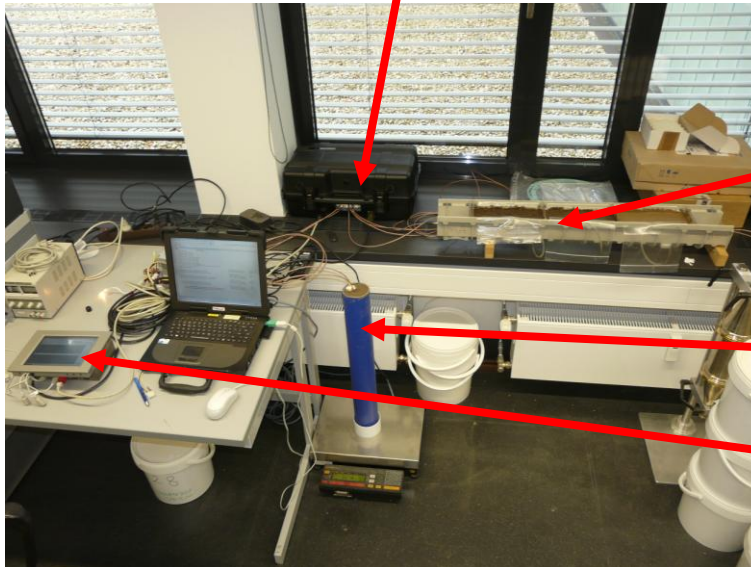


HF-Elektronik [2]



Ultrabreitband Messsystem

Euro-Platinen-Format (100x160 mm)



FBK 3 Kammer-Schicht-Modell

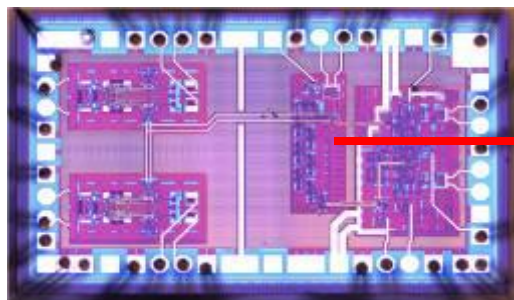
Netzteil (12 VDC, 0.9 A)

Zylindersonde

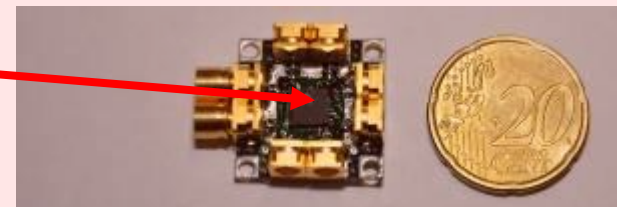
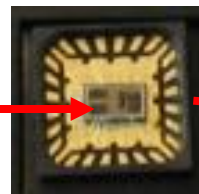
Steuerpanel

[1] Meodat GmbH
[2] EMT Sachs et al.

Messverfahren -UWB System-on-Chip (SoC)-



SoC, 2000 x 1100 μm

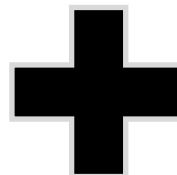


HF-Elektronik



Digitalelektronik

Ultrabreitband Messsystem [1]

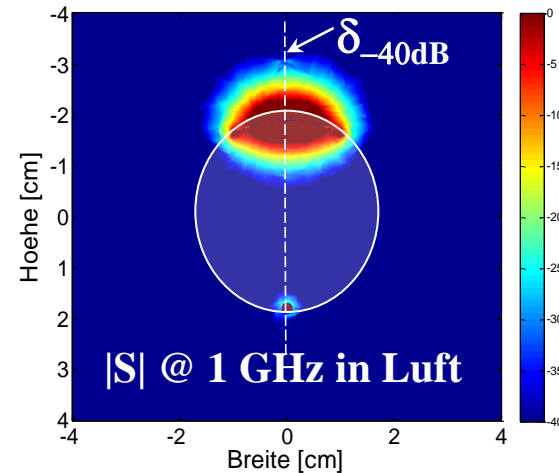
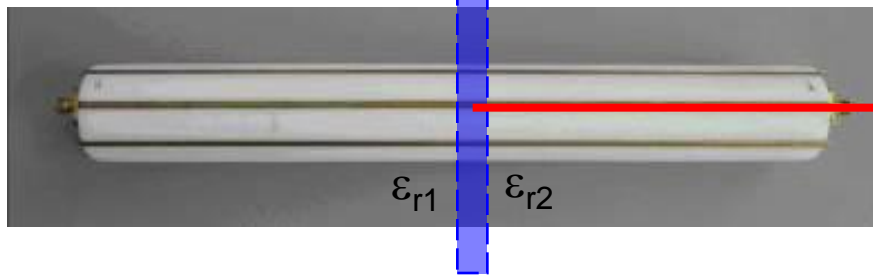


Zielstellung: Aktives UWB - Frontend direkt am Sondenkopf
 → Minimierung von Effekten durch die Kabelzuführung
 → Flexiblere Handhabung des Gesamtsystems

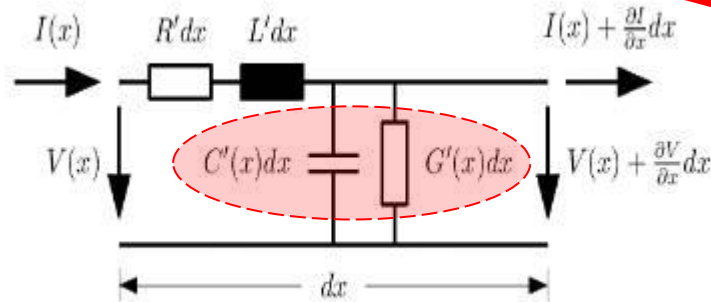
[1] EMT Sachs et al.

Rekonstruktion von Permittivitätsprofilen

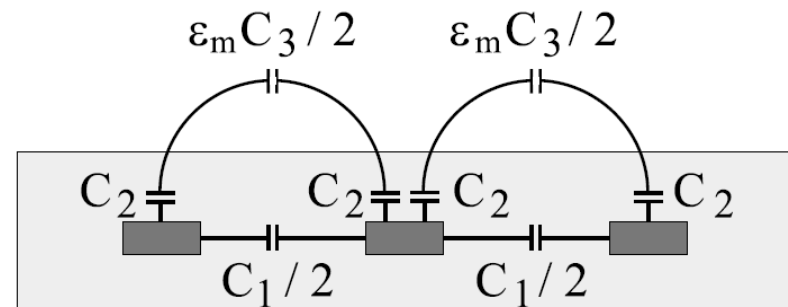
Querschnitt eines Sonderelementes



Ersatzschaltbild einer elektrischen Leitung



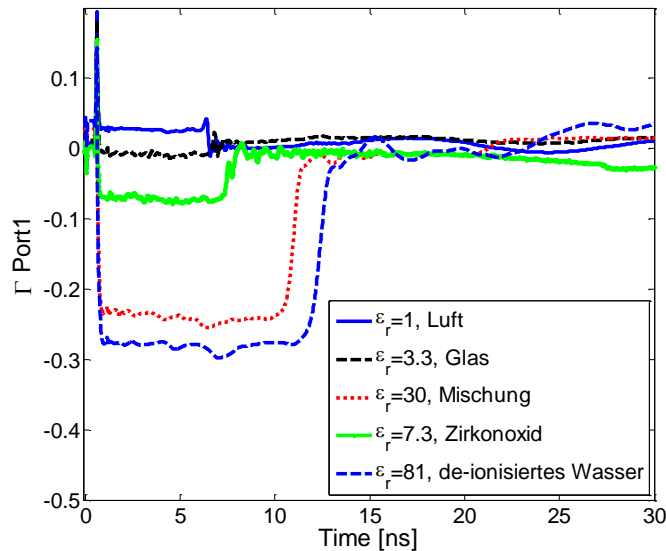
Ersatzschaltbild für Kapazitätsbelag



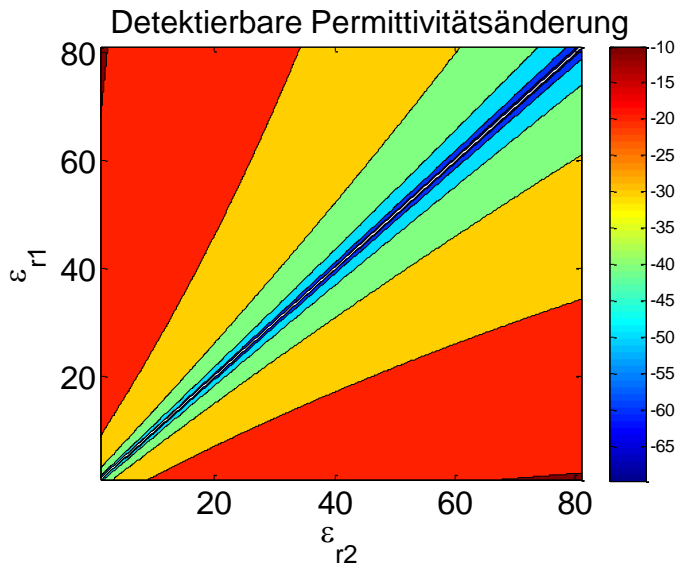
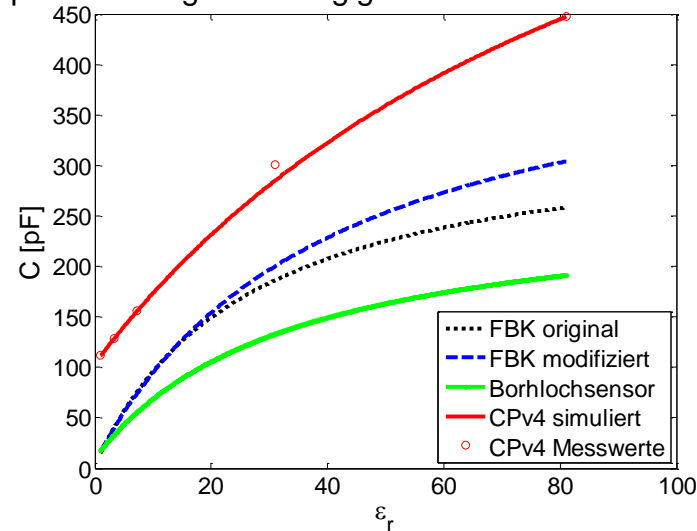
- Modellkapazitäten C_1, C_2, C_3
- Ermittlung des Permittivitätsprofils entlang der Sonde durch Inversionsverfahren

Rekonstruktion -erforderlicher Dynamikbereich-

TDR Laufzeitkurven in verschiedenen Medien



Kapazitätsbelag in Abhängigkeit von der Permittivität

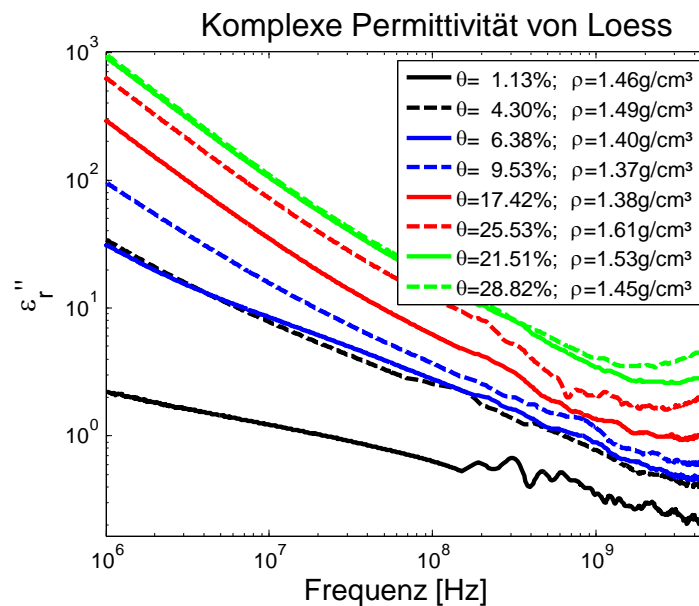
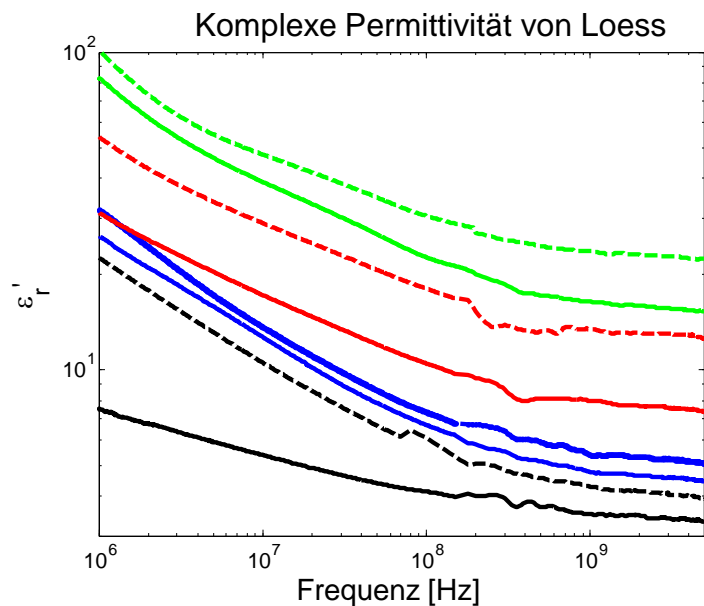


$$\tilde{C}(\tilde{\epsilon}) = C' - j \frac{G'}{\omega} = C_1 + \frac{\tilde{\epsilon} C_2 C_3}{C_2 + \tilde{\epsilon} C_3}$$

$$Z = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad \Gamma = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Beispiel: $|\epsilon_{r1} - \epsilon_{r2}| = 0.25 \rightarrow -70 \text{ dB}$

Materialkalibrierung -Feuchte-

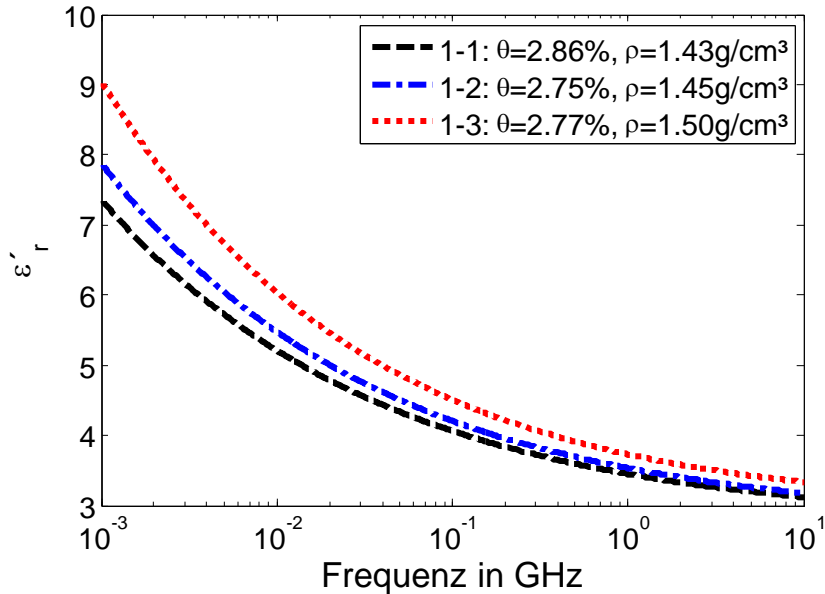


C_{org} [%]	0.34	Korngrößenverteilung < 2mm	S [%]	15.0
$CaCO_3$ [%]	13.0		U [%]	57.3
pH	7.8		T [%]	27.7
		in situ ρ_{tr} [g/cm ³]		1.55

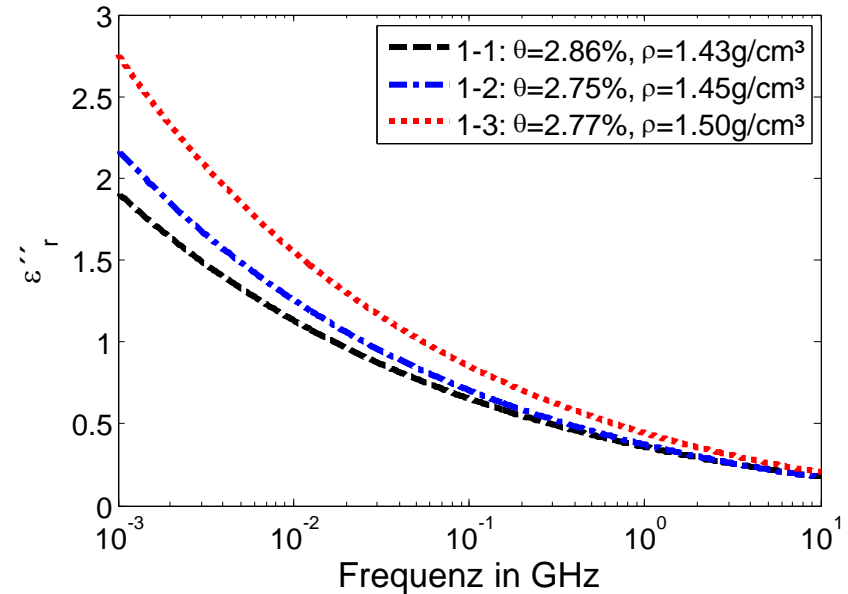
Variation der Bodentypen/Schichtungen innerhalb weniger Quadratmeter

Materialkalibrierung -Dichte-

Komplexe Permittivität in Abhängigkeit von der Dichte



Komplexe Permittivität in Abhängigkeit von der Dichte



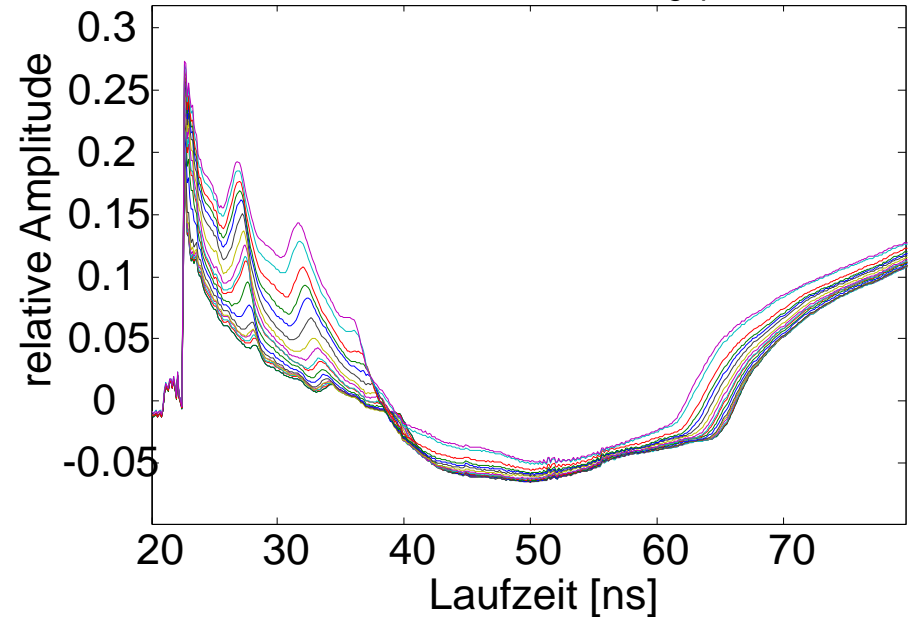
Permittivität bei höheren Frequenzen weniger variabel bei Dichteänderungen

- ➔ Bestimmung Proctordichte prinzipiell möglich
- ➔ Temperatureinfluss muss noch untersucht werden

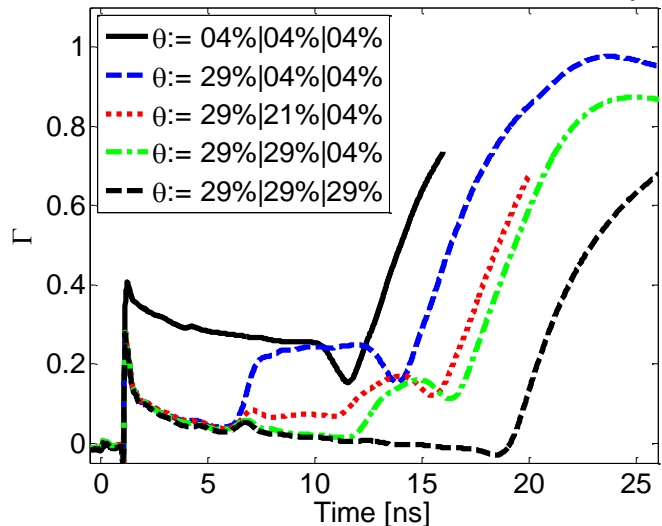
Ermittlung von Feuchteprofilen



TDR Laufzeitkurven Austrocknungsprozess



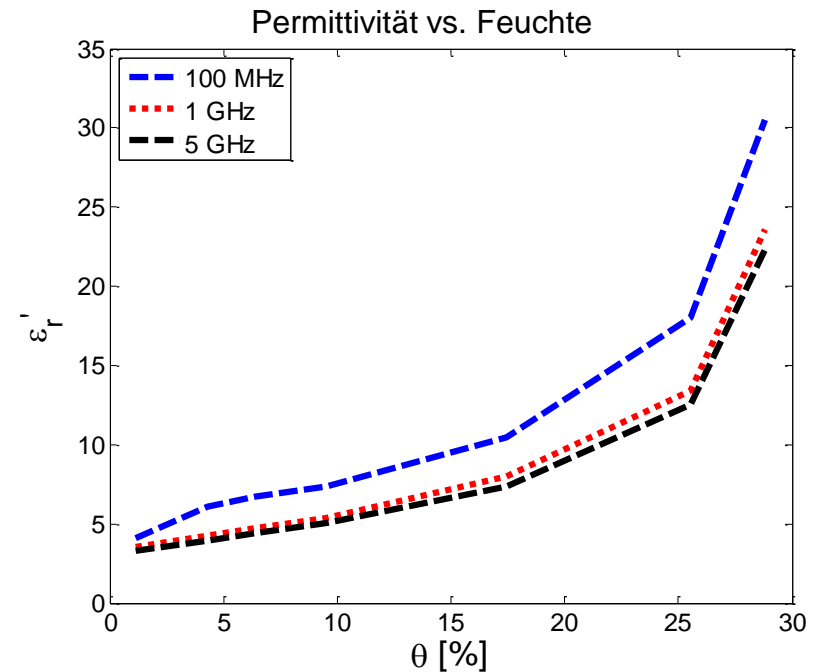
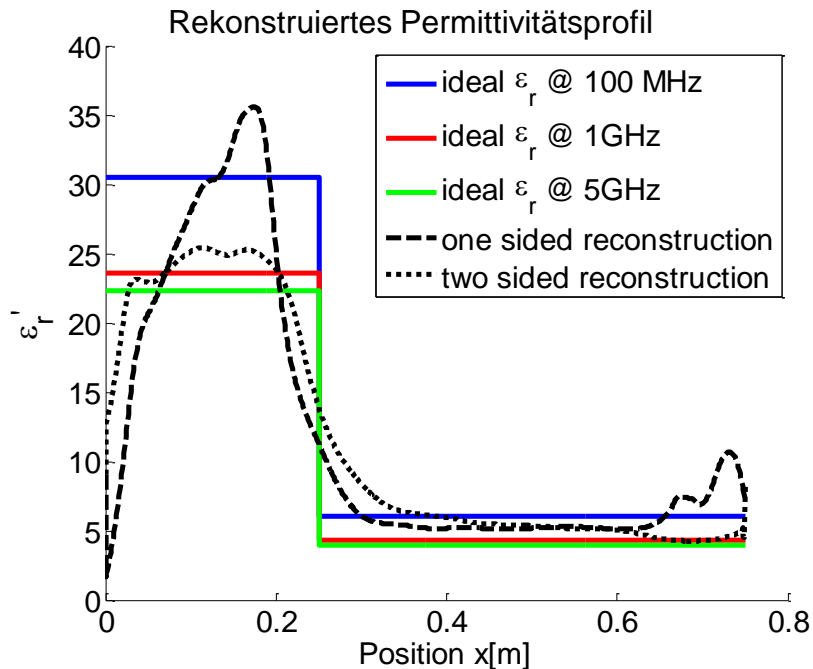
TDR Laufzeitkurven, variierende Feuchteprofile



Bestimmung von Feuchteprofilen über:

- direkte Materialkalibrierung
- dielektrische Mischgesetze

Ermittlung von Feuchteprofilen



Rekonstruktionsbeispiel Kammerbelegung: 1: $\theta=29\%$ // 2+3: $\theta=4\%$

Feuchte (volumetrischer Wassergehalt wird aus der Permittivität bestimmt)

Vergleich:

100 MHz: 1: $\theta= 27.2 \%$ // 2+3: $\theta= 3.9 \%$

1 GHz: 1: $\theta= 28.7 \%$ // 2+3: $\theta= 11.5 \%$

5 GHz: 1: $\theta= 28.8 \%$ // 2+3: $\theta= 13.1 \%$

Zusammenfassung

- Ultrabreitband Messsystem zu Bestimmung räumlich verteilter Feuchteprofile wurde vorgestellt
- Entweder Notwendigkeit der Materialkalibrierung oder „Finden“ eines praktikablen Modells
- Einfluss von Dichte und Feuchteänderungen untersucht
- Temperatureinfluss ist noch zu betrachten

Weitere Anwendungen

- Trocknungsprozesse dünner Schichten
- Qualitätssicherung in der Nahrungsmittelindustrie
- Bauwerksüberwachung
- Oberflächenrauigkeit dielektrischer Materialien
- Homogenität / Verdichtung von Materialien

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Fragen?

