

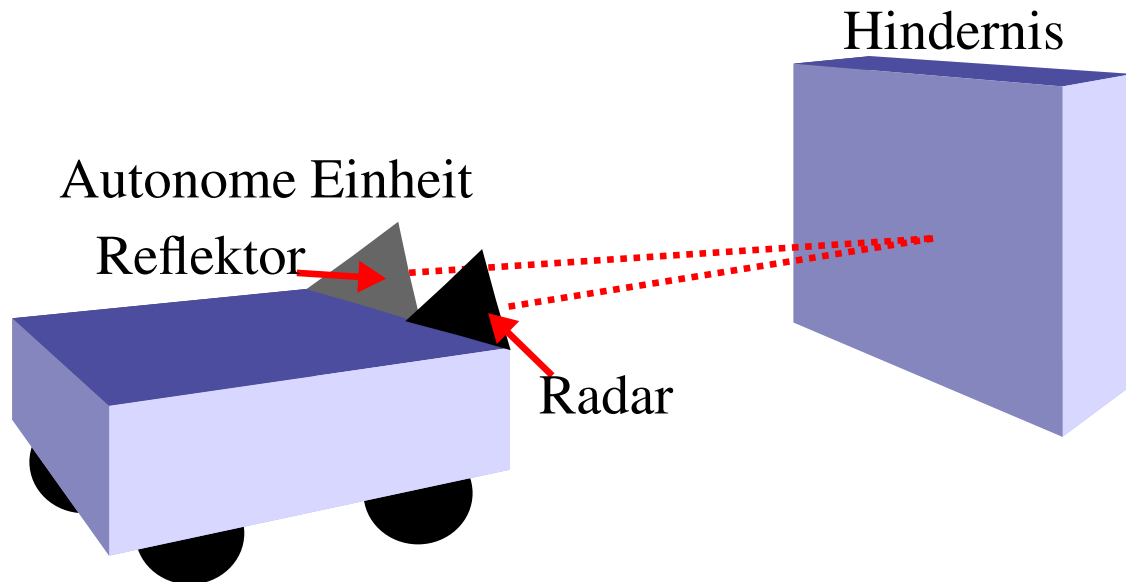
# Materialcharakterisierung mittels Mikrowellenretroreflektor Ellipsometrie

Desireé Sasdrich, Markus Schmücker und Sebastian Tonder



# Einleitung

## Mikrowellenretroreflektor Ellipsometrie



- Schätzverfahren für die relative Permittivität
- Zerstörungsfreie Charakterisierung von Proben
- Zum Beispiel Anwendung in der automatischen Brandentdeckung

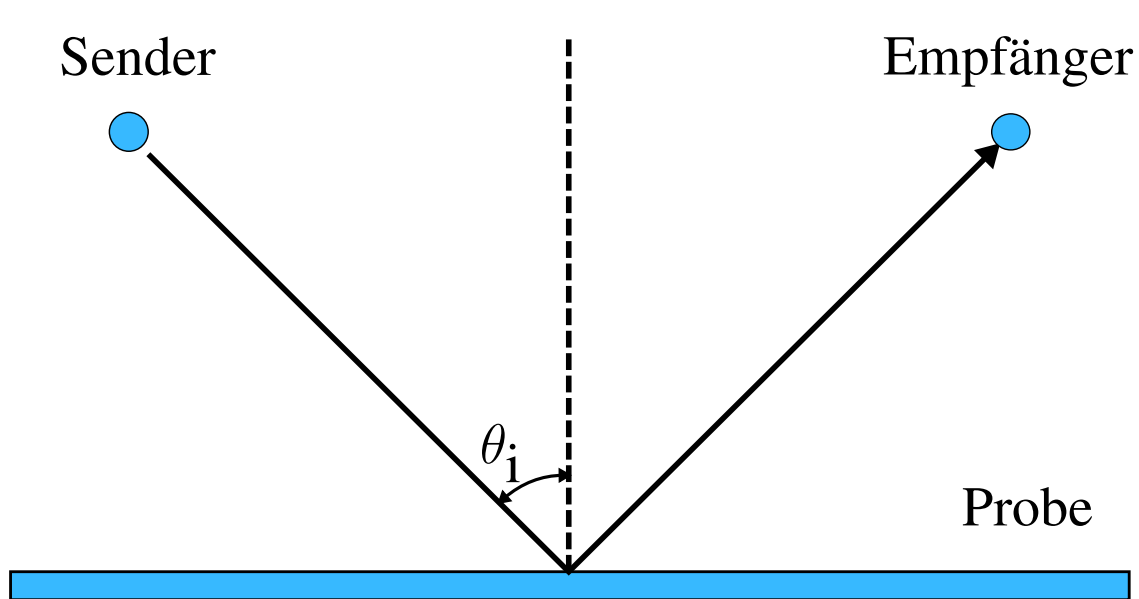
# Einleitung

## Mikrowellenretroreflektor Ellipsometrie

- Ersatz für Transmissionsmessungen
- Keine zweite Einheit hinter Objekt notwendig
- Kenntnis der Dicke nicht nötig
- On-Chip Lösung

# Grundlagen

## Mikrowellenellipsometrie



### Prinzip

- Bestrahlung mit zueinander orthogonal linear polarisierten Wellen
- Messung der Amplituden der reflektierten Wellen

# Grundlagen

## Mikrowellenellipsometrie

Zusammenhang der Feldgrößen:

$$E_{\perp} = r_{\perp} E_i$$

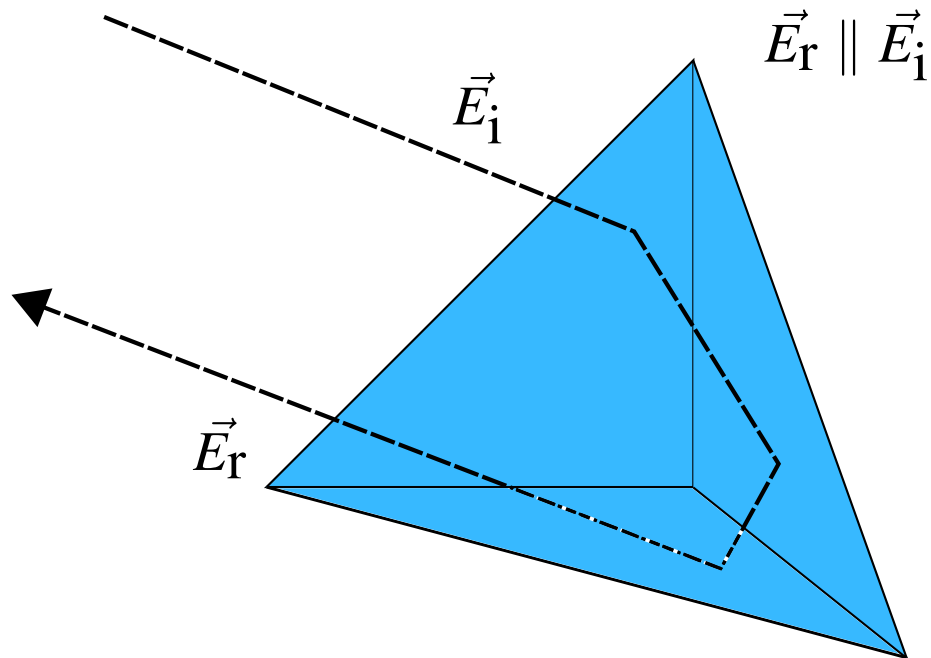
$$E_{\parallel} = r_{\parallel} E_i$$

Permittivitätsschätzung mittels inverser Fresnelscher Formeln:

$$\epsilon_r = \left( \frac{\sin^2(\theta_i) \left( \frac{E_{\perp}}{E_{\parallel}} - 1 \right)}{\cos(\theta_i) \left( \frac{E_{\perp}}{E_{\parallel}} + 1 \right)} \right)^2 + \sin^2(\theta_i)$$

# Grundlagen

## Retroreflektor

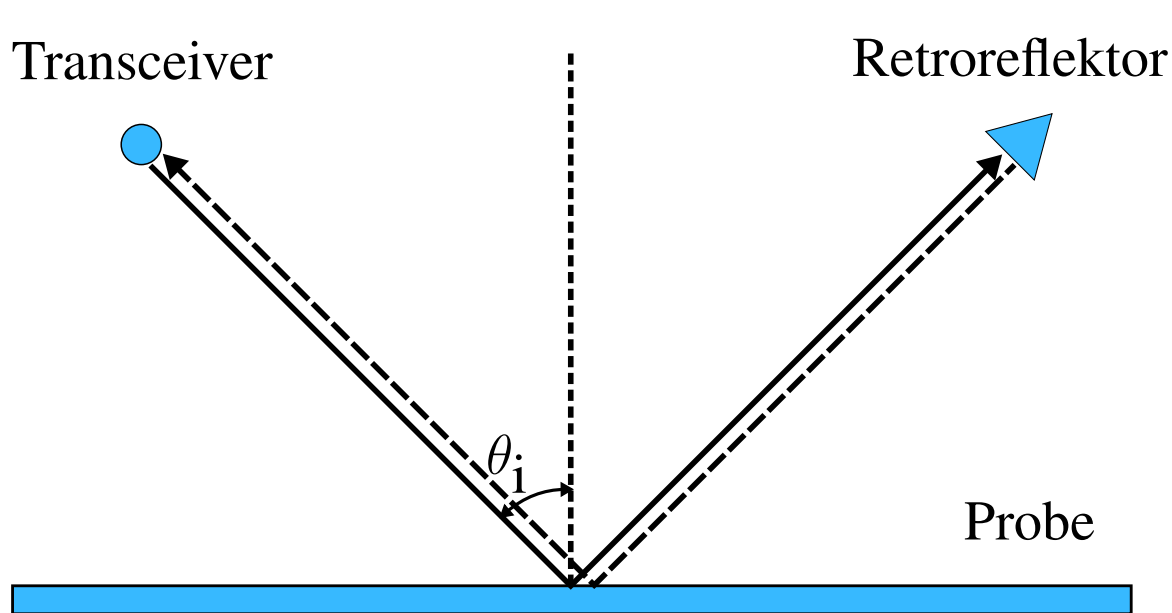


### Vorteile

- Wesentlich höherer Radarquerschnitt als eine gleichgroße ebene Fläche
- Einfallende und ausfallende Strahlen sind parallel
- Der Retroreflektor muss nicht exakt ausgerichtet sein

# Grundlagen

## Mikrowellenretroreflektor Ellipsometrie



### Prinzip

- Sender und Empfänger befinden sich auf einem Mikrochip
- Zur Messung werden die Strahlen durch einen Retroreflektor zum Transceiver zurückreflektiert

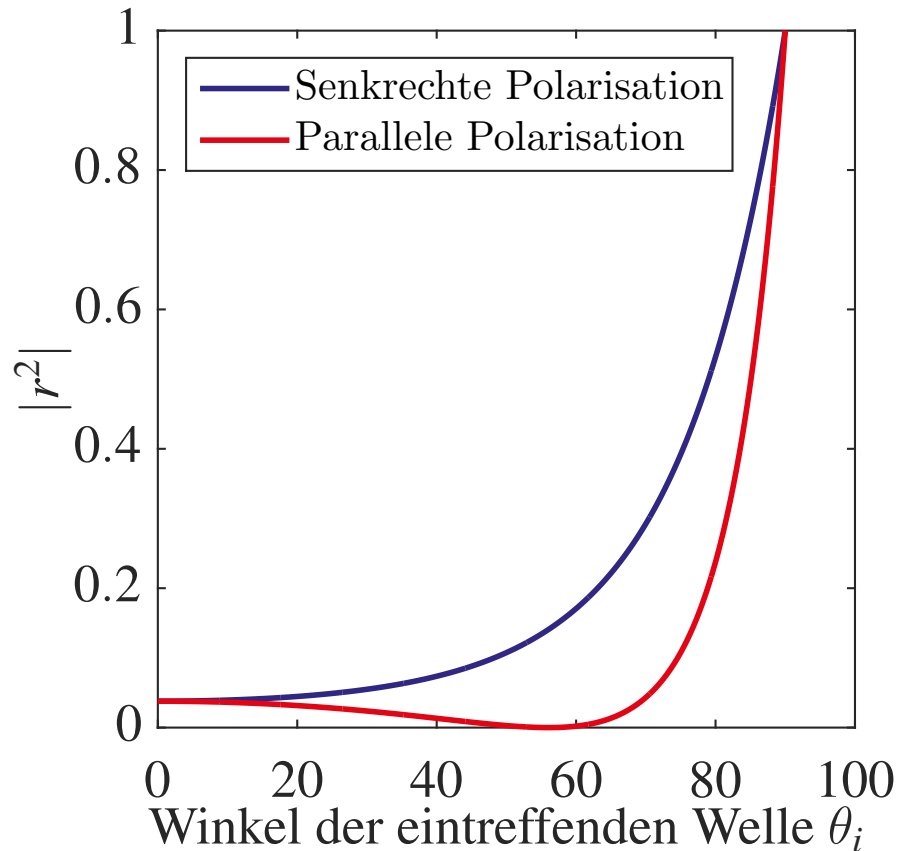
# Grundlagen

## Mikrowellenretroreflektor Ellipsometrie

Feldgrößen bei Doppelreflexion:

$$E'_{\perp} = r_{\perp}^2 E_i$$

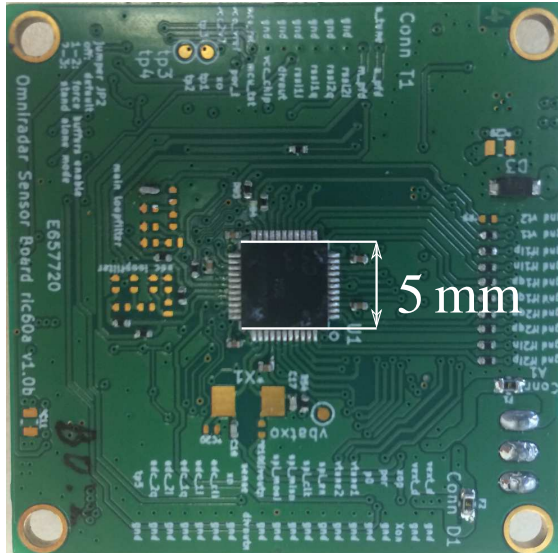
$$E'_{\parallel} = r_{\parallel}^2 E_i$$





# Grundlagen

## Motivation



- Erprobung integrierter Hardware
- Durchführung der Charakterisierung im 60 GHz Frequenzband
- Kostengünstig und platzsparend

# Grundlagen

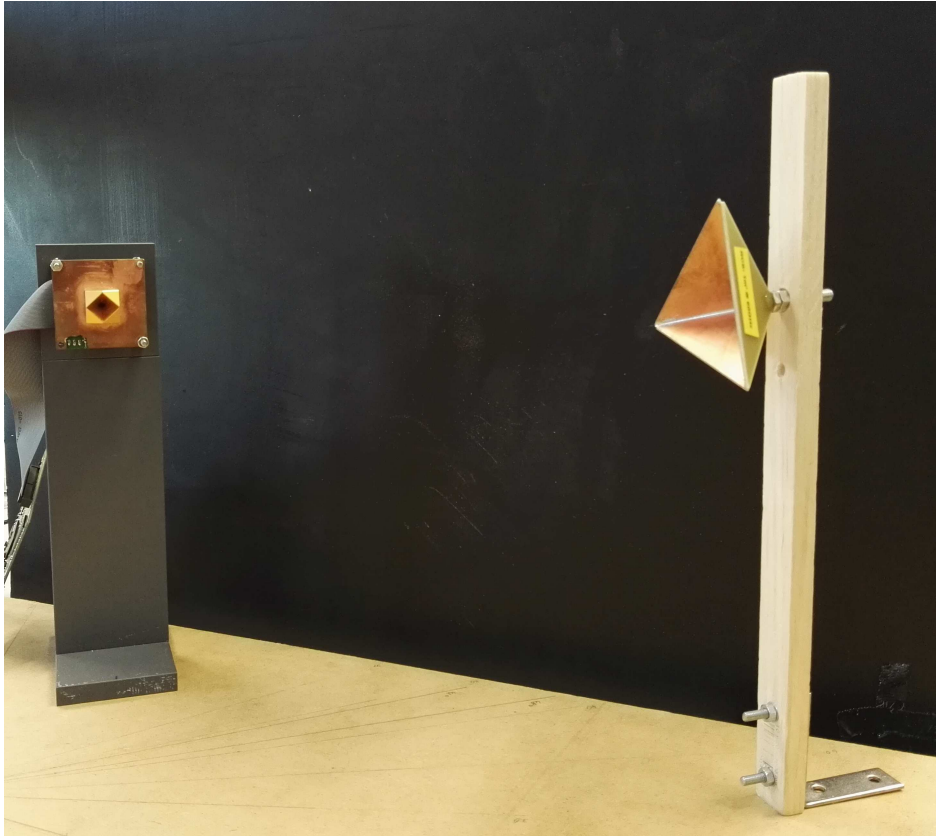
## Zielsetzung

- Feststellung technischer Grenzen
- Variation des Einfallswinkels
- Untersuchung unterschiedlicher Materialien
- Vergleich mit Literaturwerten und etablierten Messtechniken



# Grundlagen

## Versuchsaufbau und Schätzverfahren



---

Material	Literaturwert der Permittivität
----------	------------------------------------

---

MDF	2.24
-----	------

---

Delrin	2.826
--------	-------

---

Basalt	6.7665
--------	--------

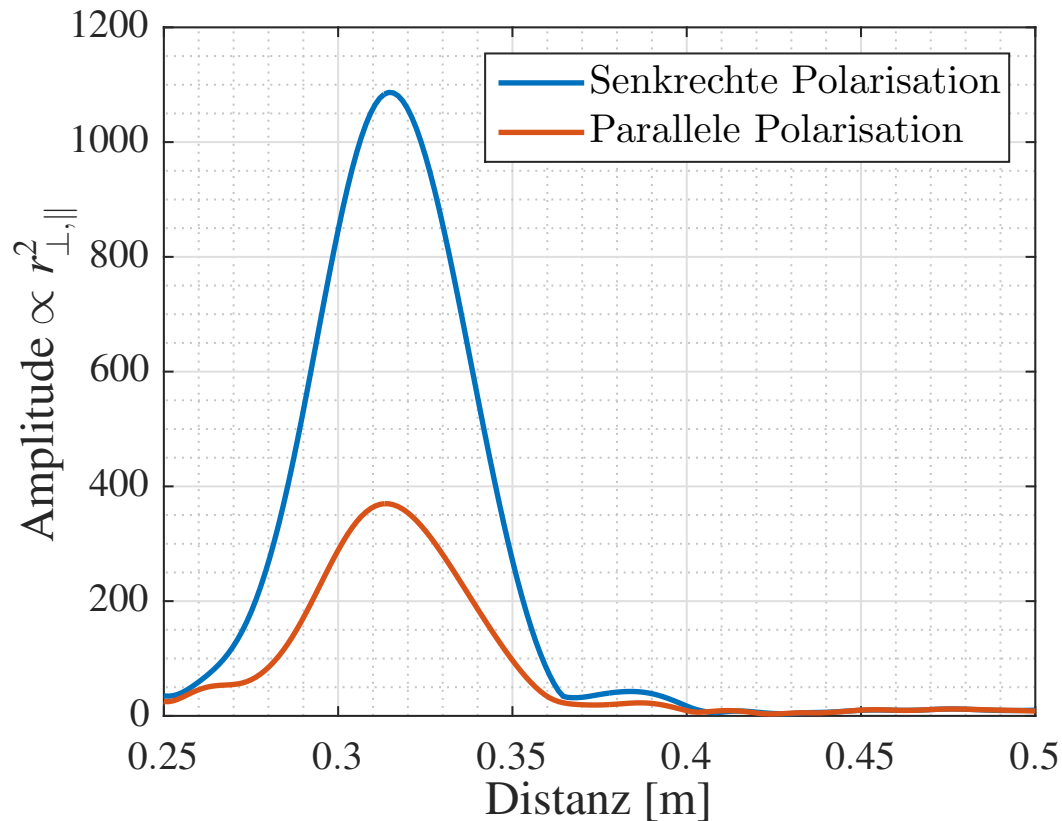
---

PVC	2.74
-----	------

---

# Grundlagen

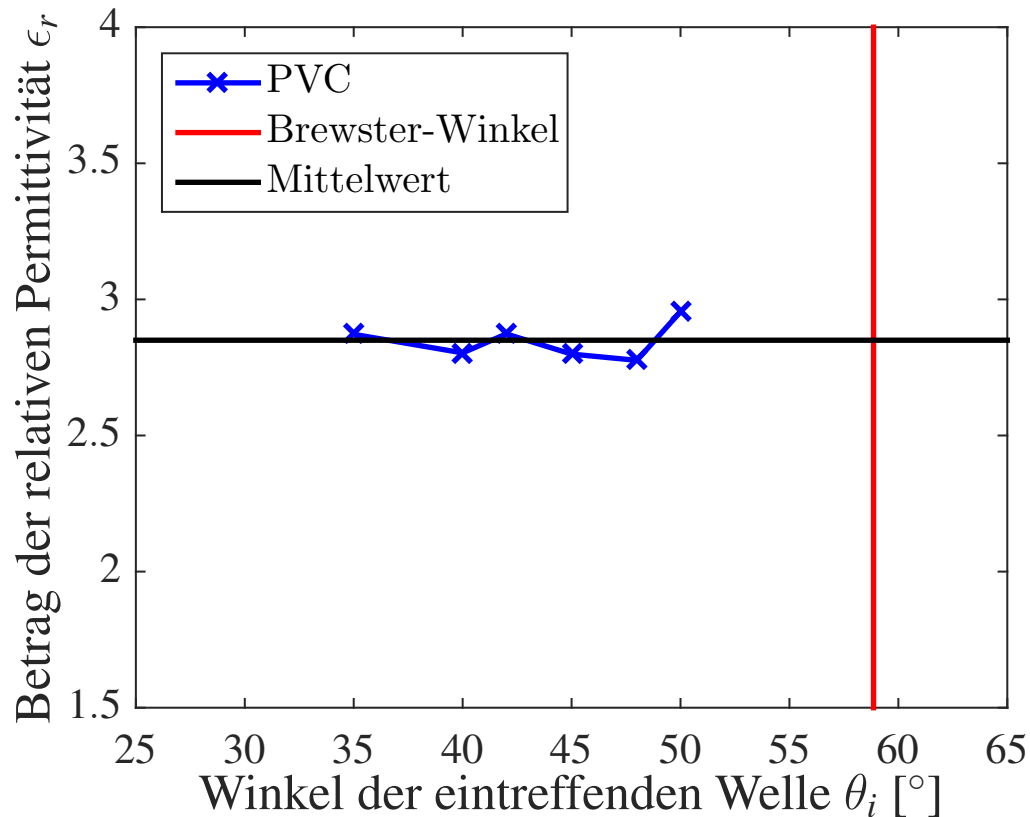
## Graphische Auswertung



- Direkter Vergleich beider Messungen
- Deutlicher Unterschied der Polarisationsarten
- Maximum entspricht der Distanz zum Objekt

# Ergebnisse

## PVC

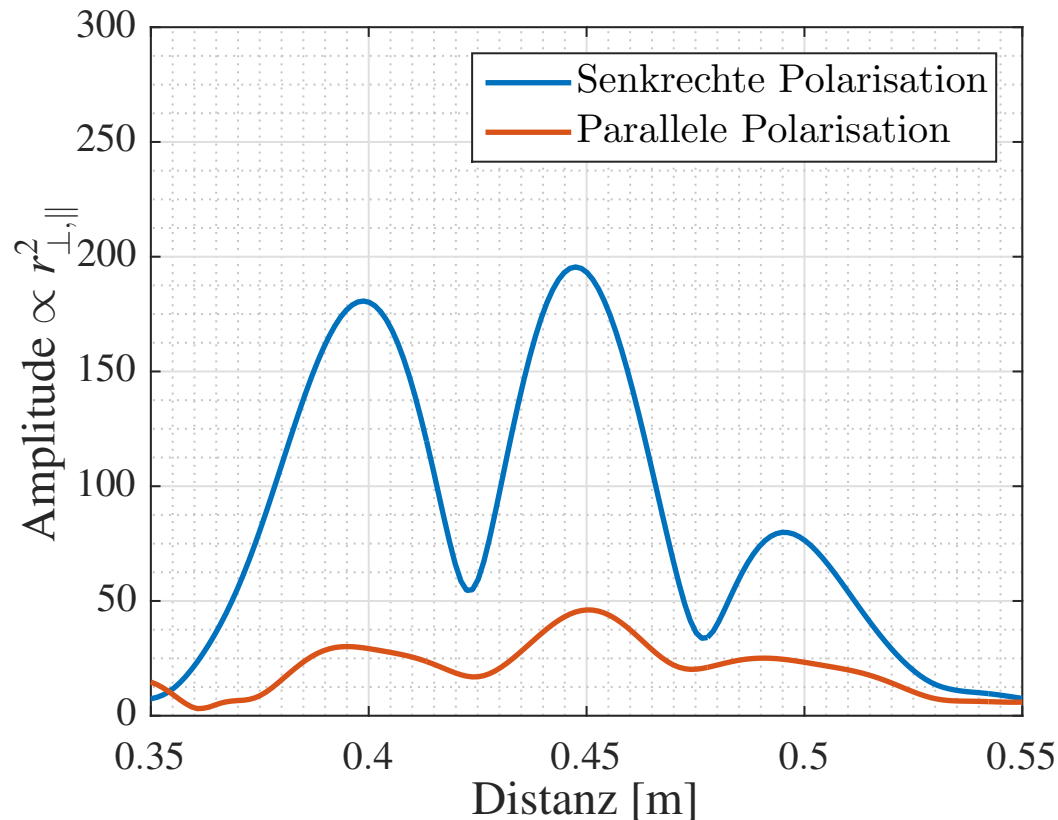


### Auftretende Probleme

- Kleine Einfallswinkel ( $\leq 30^\circ$ )
- Brewster-Winkel
- Große Einfallswinkel ( $\geq 60^\circ$ )
- Mehrfachreflexionen

# Ergebnisse

## Mehrfachreflexionen bei PVC

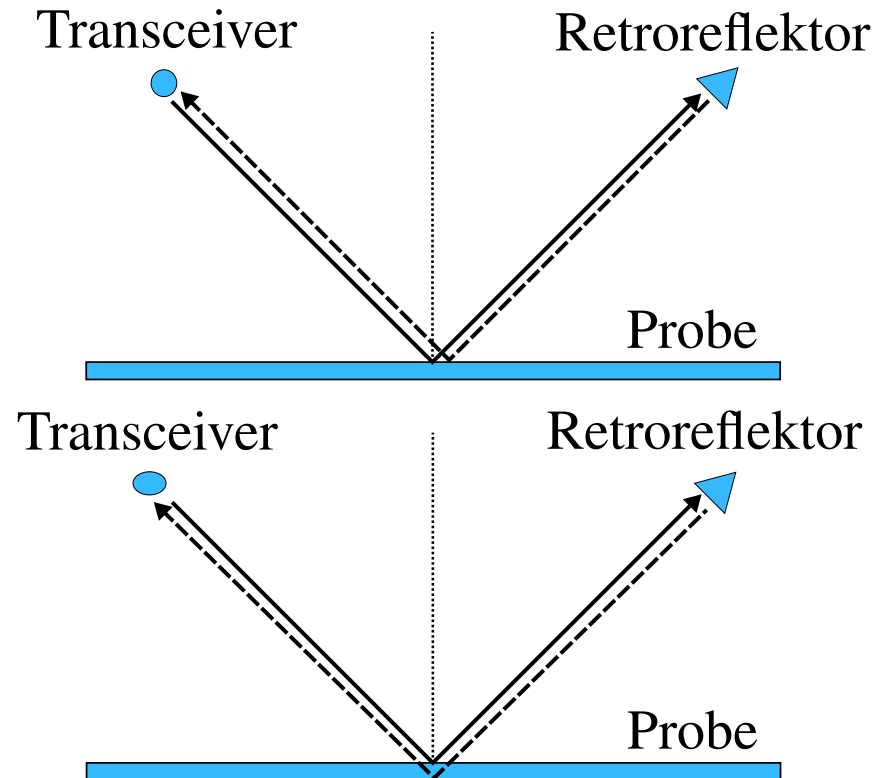


### Erkenntnisse

- Winkelunabhängig
- Abhängig von Materialeigenschaften
- Abhängig von der Form der Probe

# Ergebnisse

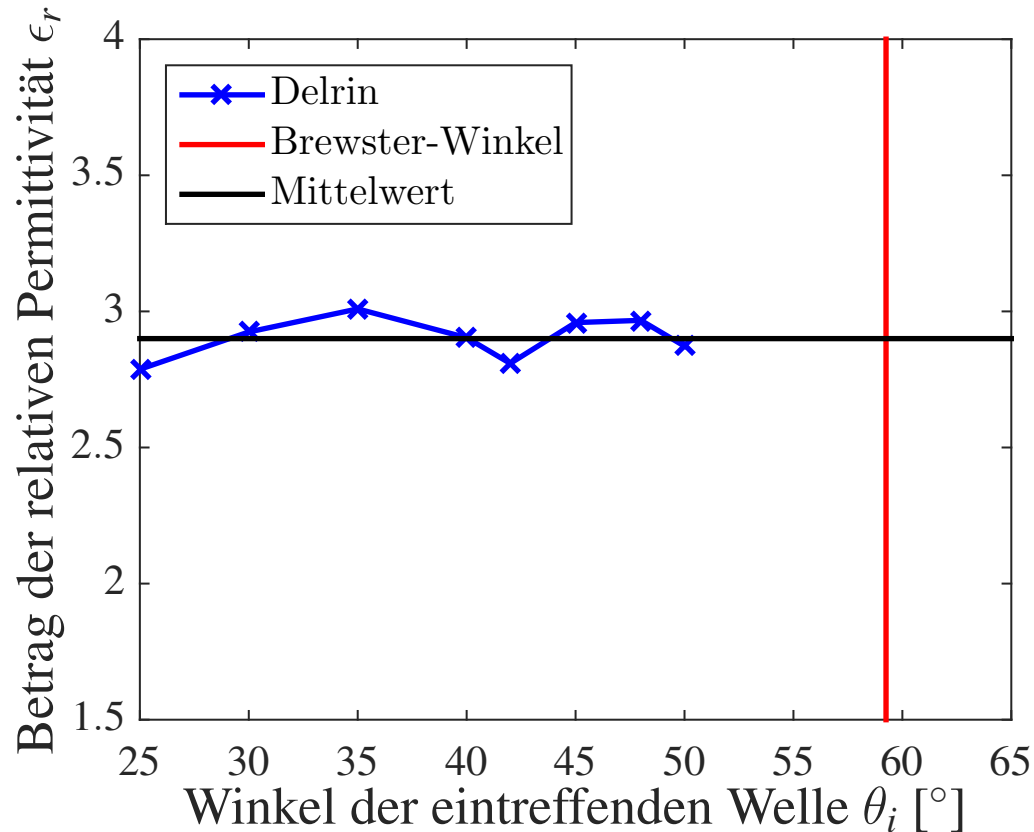
## Strahlengang von Materialien mit geringer Dicke



- Doppelte Reflexion an der Vorderseite
- Reflexion an der Vorder- und Rückseite

# Ergebnisse

## Delrin



### Erkenntnisse

- Keine Mehrfachreflexionen
- Bis 50° gute Ergebnisse



# Ergebnisse

## Tabellarische Ergebnisse

Material	Mittelwert	Literaturwert	relative Abweichung in %
Delrin	2.90	2.826 @ 100 GHz	2.7
PVC	2.85	2.74 @ 76.5 GHz	3.7
MDF	2.18	2.24 @ 60 GHz	2.7
Basalt	8.14	6.7665 @ 45 GHz	16.8

# Ergebnisse

## Tabellarische Ergebnisse

### Naturprodukt Basalt

- Relative Permittivität abhängig von Wasseranteil und Frequenz
- Die Platte weist eine gewisse Rauheit auf

# Fazit

## Zusammenfassung

- Schätzverfahren mit Einschränkungen zur Materialcharakterisierung geeignet
  - Problematik kleiner bzw. großer Winkel
  - Brewsterwinkel
  - Mehrfachreflexionen
- Ergebnisse durch Literaturwerte bestätigt
- Bereich um  $45^\circ$  am besten geeignet

# Fazit

## Aussicht

- Genauigkeit der Schätzung könnte erhöht werden:
  - Verbesserung der Richtcharakteristik
- Untersuchung von Überlagerungen
- Verbindung mit bildgebenden Verfahren

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



# Zusatzmaterial

## Zugrundeliegende Formeln

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

$$r_{\perp} = \frac{\cos(\theta_i) - \sqrt{\epsilon_{r2} - \sin^2(\theta_i)}}{\cos(\theta_i) + \sqrt{\epsilon_{r2} - \sin^2(\theta_i)}}$$

$$r_{\parallel} = \frac{\epsilon_{r2} \cdot \cos(\theta_i) - \sqrt{\epsilon_{r2} - \sin^2(\theta_i)}}{\epsilon_{r2} \cdot \cos(\theta_i) + \sqrt{\epsilon_{r2} - \sin^2(\theta_i)}}$$