



# Passive ferroelektrische Modulatoren

für

## RFID Backscatter Transponder

Patrick Scheele

Technische Universität Darmstadt

Institut für Hochfrequenztechnik

FG Funkkommunikation

e-mail: [scheele@hf.tu-darmstadt.de](mailto:scheele@hf.tu-darmstadt.de)

<http://www.hf.e-technik.tu-darmstadt.de>





- Systembetrachtung:  
RFID Transponder im Mikrowellenbereich
- Passiv steuerbare Bauelemente:  
“Tunable Passives” mit Ferroelektrika
- Demonstratoren:  
Miniaturisierte 2.45 GHz Backscatter Modulatoren
- Zusammenfassung und Ausblick





# RFID-Transponder im Mikrowellenbereich

- Long-Range Transponder

Entfernungen Reader-Transponder > 20m

- Radarortung<sup>\*)</sup>

2D / 3D-Positionsbestimmung, Auflösung << 1cm !

- Anwendungen

Fahrzeugidentifikation	(Mautsysteme)
Logistik / Lagerhaltung	(Hochlager)
verteilte Sensorik	(Tierhaltung, Temperaturüberwachung)

...

- Herausforderung

Halbleiterkosten  
Energieversorgung  
Fernfelddämpfung

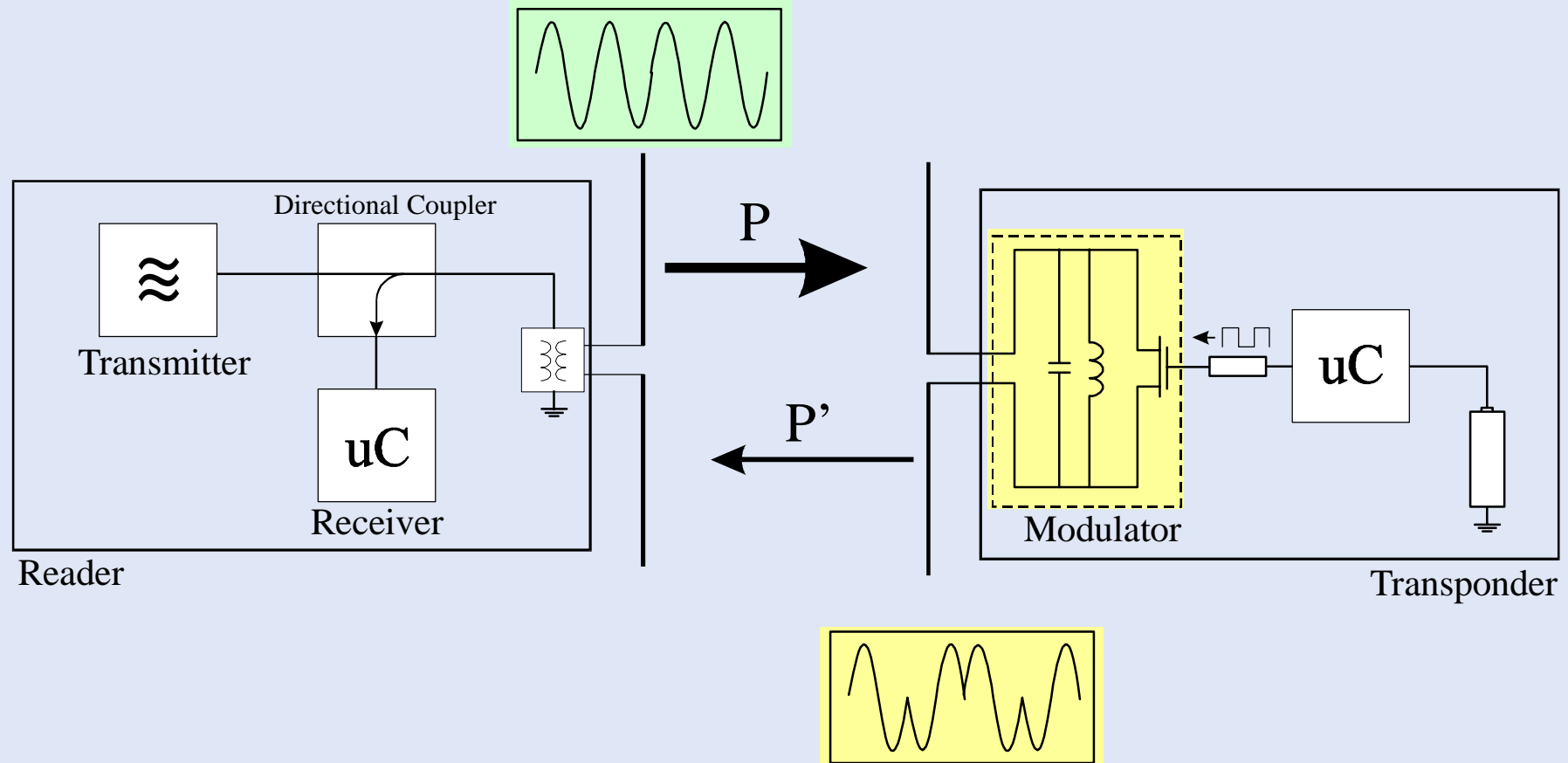
<sup>\*)</sup> „Wireless local positioning“

Vossiek, M.; Wiebking, L.; Gulden, P.; Wieghardt, J.; Hoffmann, C.; Heide, P.; Microwave Magazine, IEEE , Volume:4, Issue: 4 , Dec. 2003, pp. 77 - 86





# RFID Backscatter-Modulation



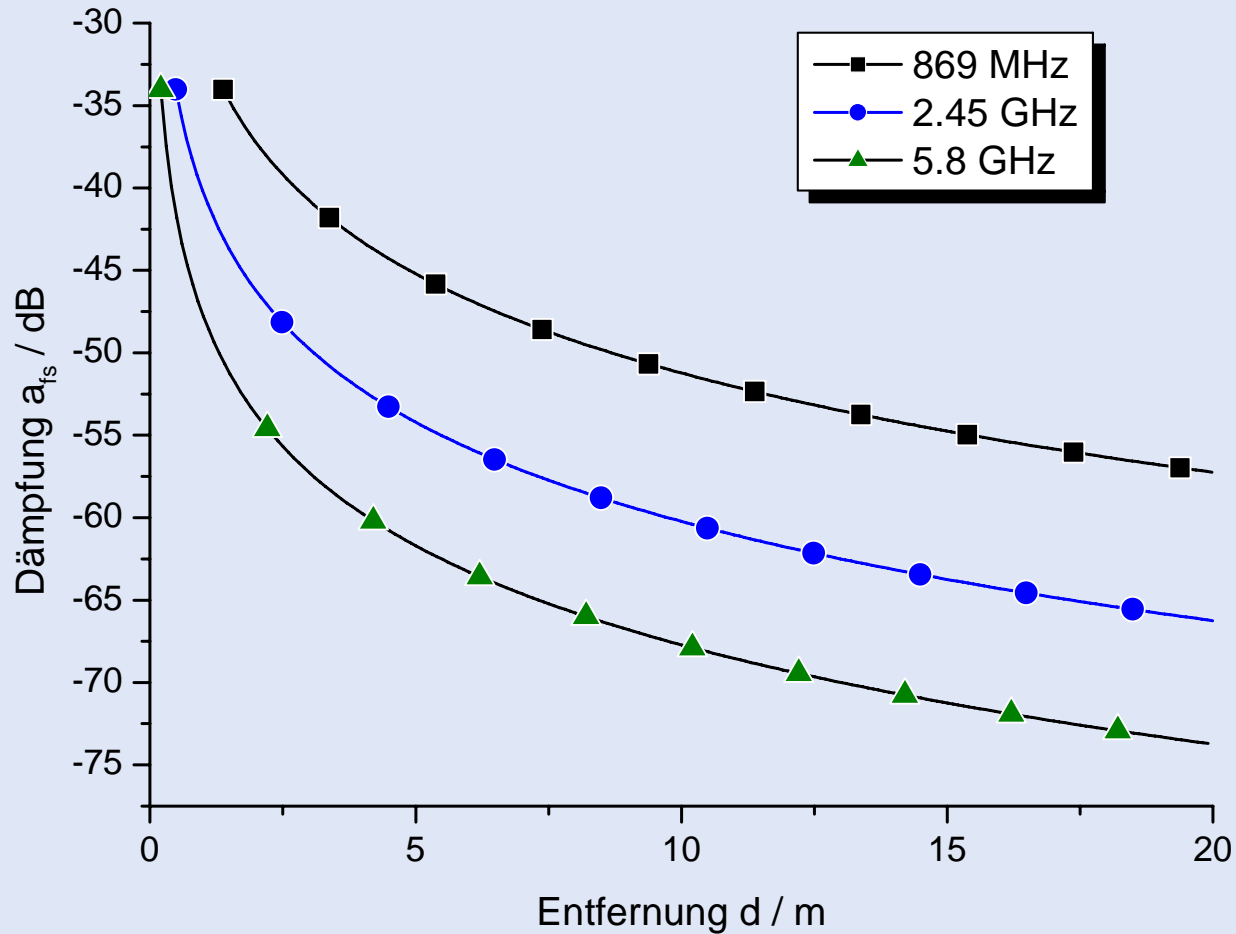


# Fernfelddämpfung

Fernfelddämpfung in Abhängigkeit von Entfernung und Frequenz

$$a_{fs} \propto d^2$$

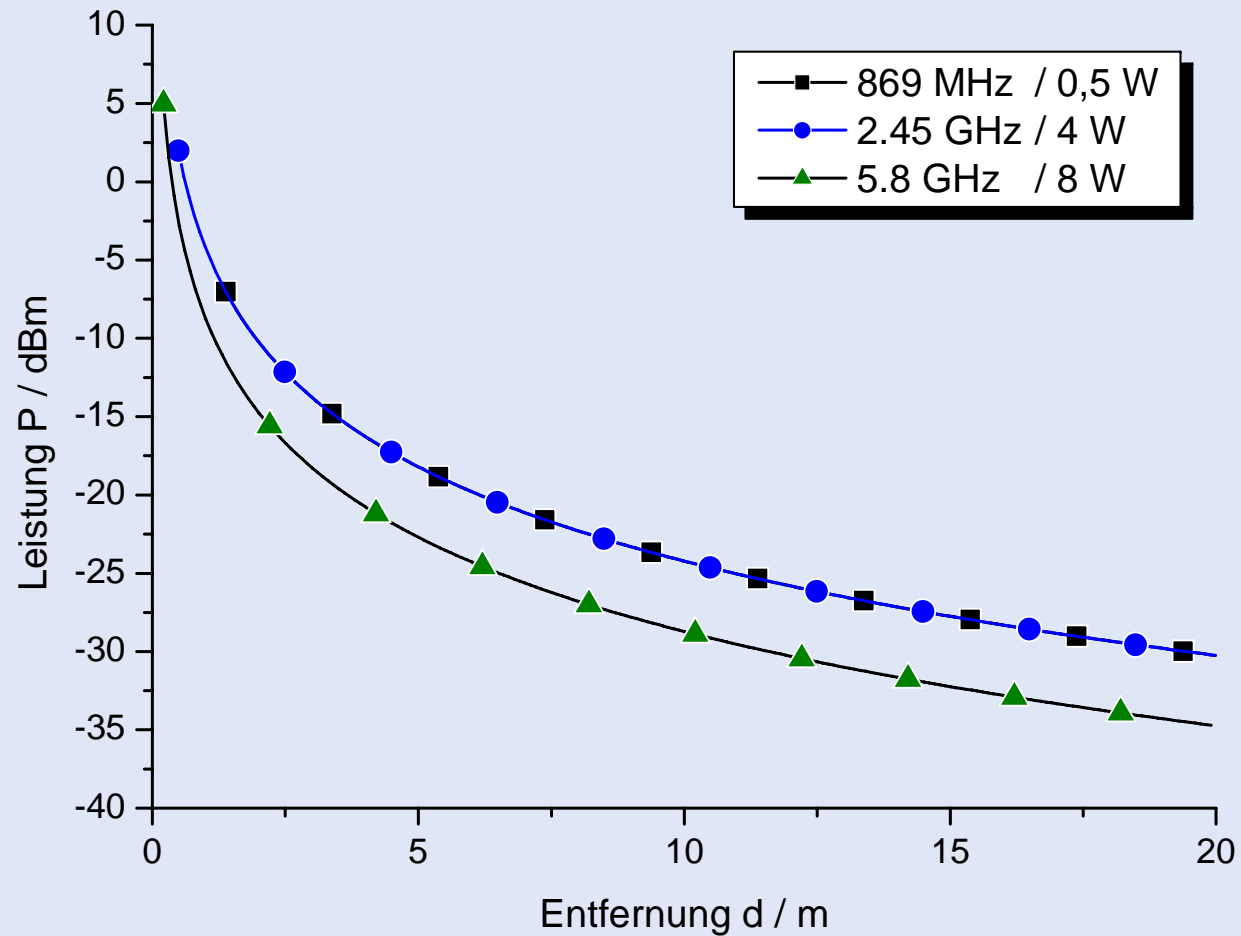
$$a_{fs} \propto f^2$$





# Signalleistung

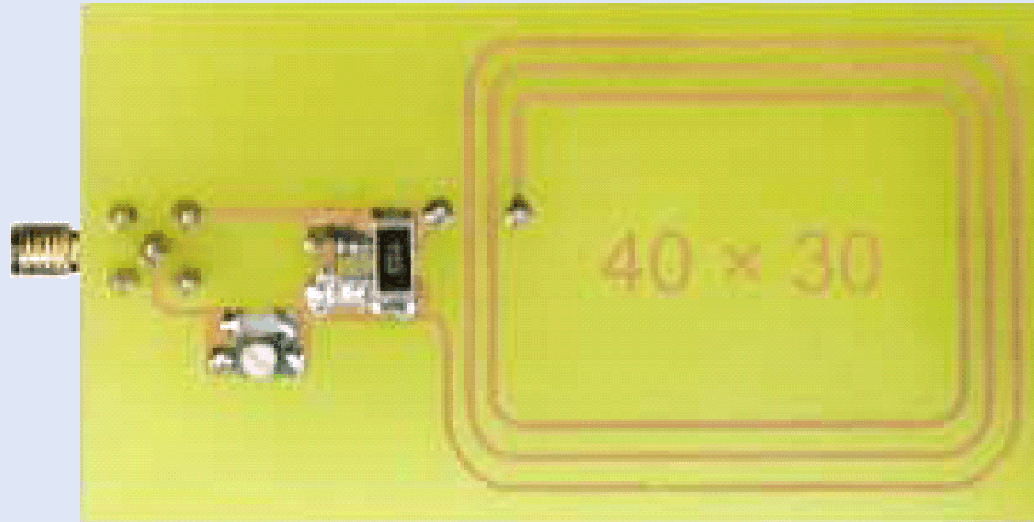
Signalleistung in Abhängigkeit von Entfernung, Frequenz und Sendeleistung





# Kompakte Antennen

„Kompakte“ Antenne für 13,56 MHz (40 mm x 30 mm)



Wirkungsgrad  $\approx 1 \dots 10\%$

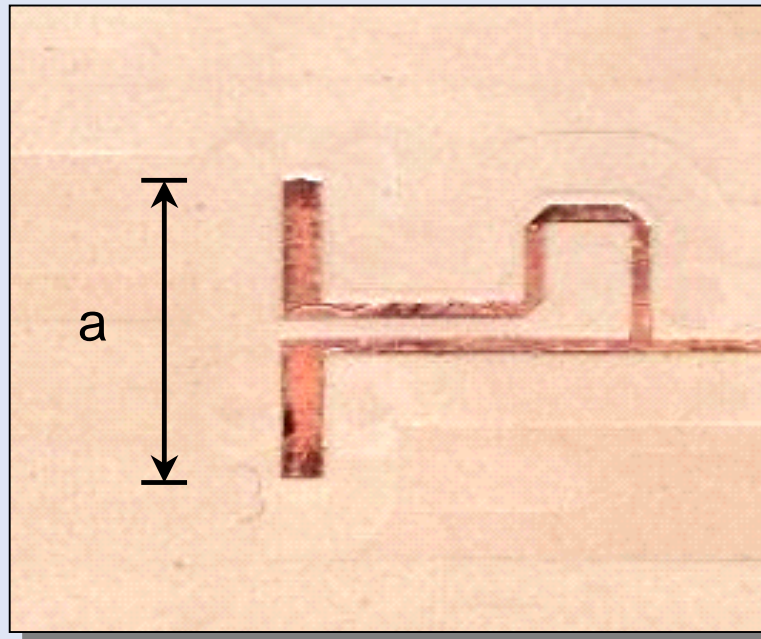
\*) „HF Antenna Cookbook - Technical Application Report“  
Texas Instruments Radio Frequency Identification Systems,  
Lit. Nr. 11-08-26-001, Jan 2004.





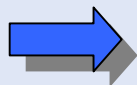
# Kompakte Antennen

## Gefräste 10 GHz Dipol-Antenne (Beispiel)



f / GHz	a / cm
10	0,85
5,8	1,47
2,45	3,47
0,869	9,78
13,56 MHz	≈11 m

Wirkungsgrad  $\approx 80\text{...}95\%$



Hocheffiziente Antennen bei hohen Frequenzen







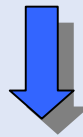
- Systembetrachtung:  
RFID Transponder im Mikrowellenbereich
- Passiv steuerbare Bauelemente:  
“Tunable Passives” mit Ferroelektrika
- Demonstratoren:  
Miniaturisierte 2.45 GHz Backscatter Modulatoren
- Zusammenfassung und Ausblick



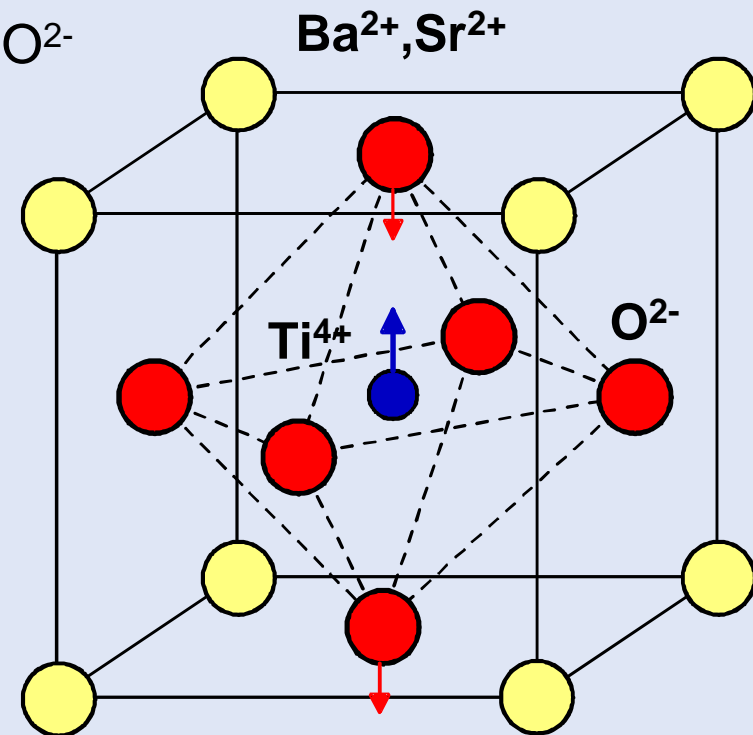


# Raumtemperatur-Ferroelektrika

- Großes elektrisches Dipolmoment  $\text{Ti}^{4+}$  &  $\text{O}^{2-}$   
⇒ **Polarisation**
- $\text{Ti}^{4+}$  Zentralion klein & beweglich  
⇒ **Große Auslenkung durch E-Feld**
- Paraelektrische Phase  
⇒ **Keine Hysterese**



- Kontinuierliche Änderung der relativen Permittivität  $\epsilon_r$  durch elektrisches Feld
- Sehr schnelle Aussteuerung (ps...ns)
- Äußerst geringer Stromverbrauch

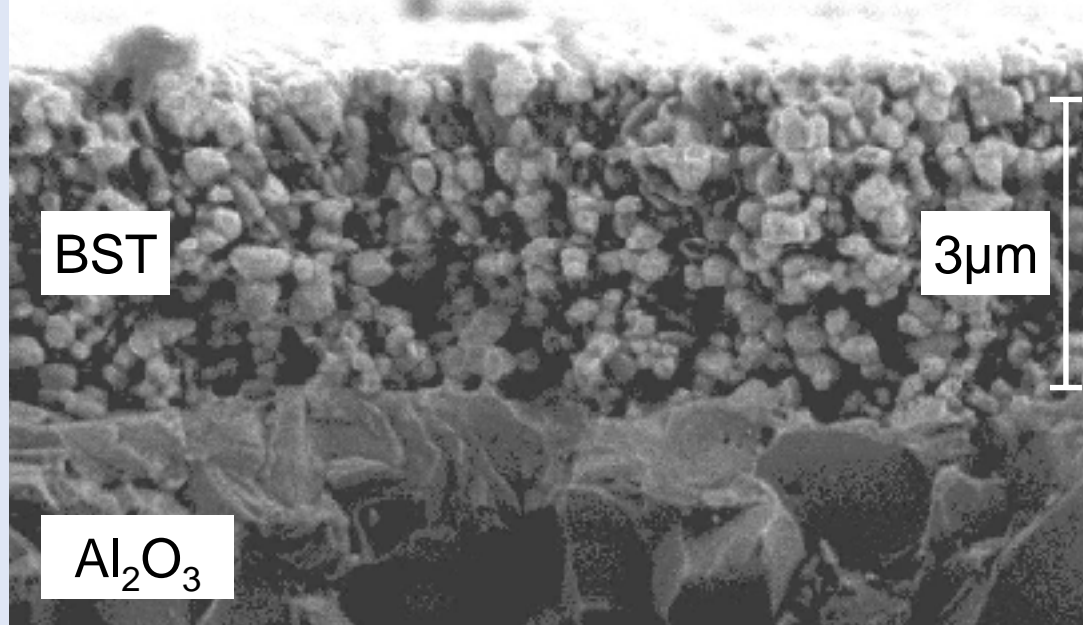


Ferroelektrischer Mischkristall  
in paraelektrischer Phase  
(Perowskit-Zelle)



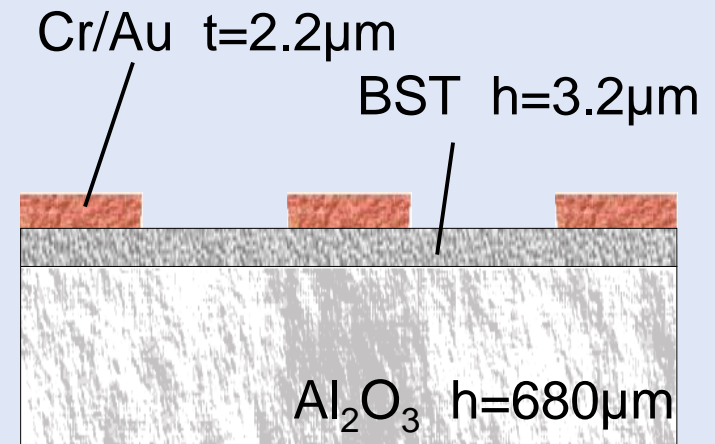
# Substrateigenschaften

$\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$  (BST)- Dickschicht auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$



(Präparation: IWE, Universität Karlsruhe)

- Siebdrucktechnik auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Substrat
- Pressen, Sintern bei  $1150^\circ\text{C}$ - $1250^\circ\text{C}$
- Mittlere Korngröße  $\approx 0,2 \dots 0,4 \mu\text{m}$
- Porosität  $\approx 20 \dots 30 \%$





# BST Dickschicht

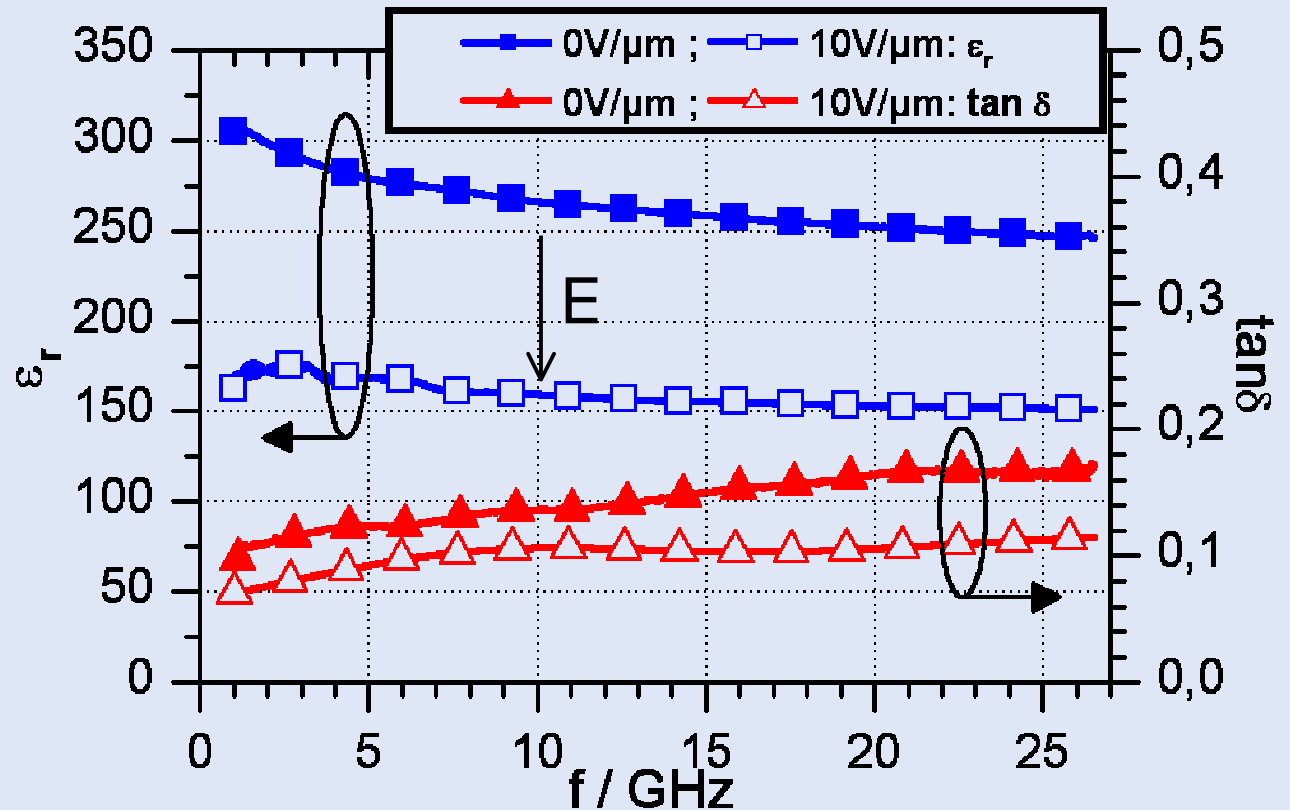
## Dielektrische Eigenschaften

Dielektrische  
Steuerbarkeit

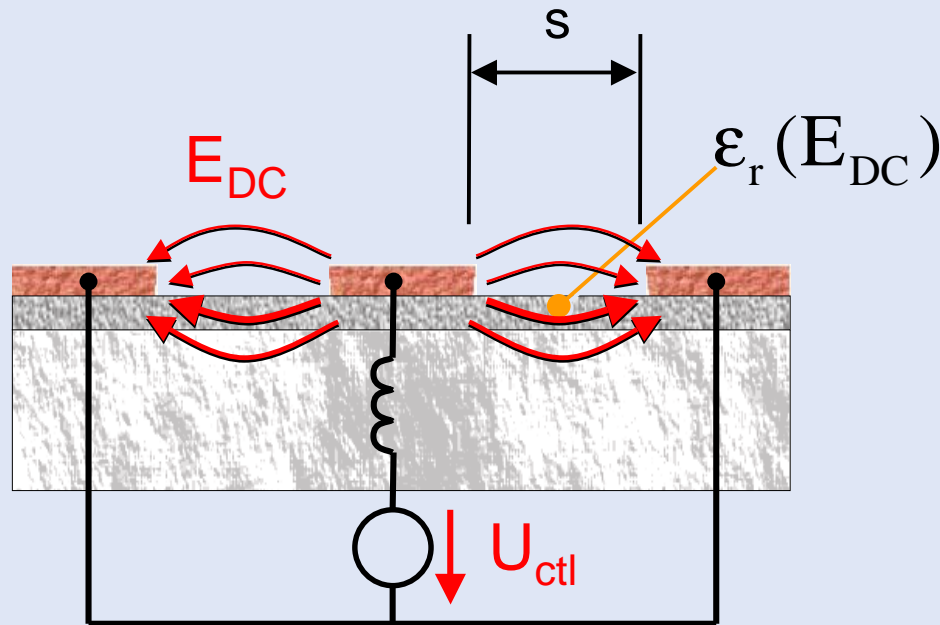
$$\tau(E) = \frac{\epsilon_r(0) - \epsilon_r(E)}{\epsilon_r(0)}$$

- Hohe Steuerbarkeit  
 $\tau(10 \text{ V}/\mu\text{m}) \approx 35..40\%$
- Hohe Verluste  
 $\tan\delta \approx 0.08 \dots 0.17$

$\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$  (BST)- Dickschicht auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$



# Steuerbare Kapazitäten und Leitungen



$$E_{DC} \approx \frac{U_{ctl}}{s}$$

$$I_{DC} \ll 1\mu A$$

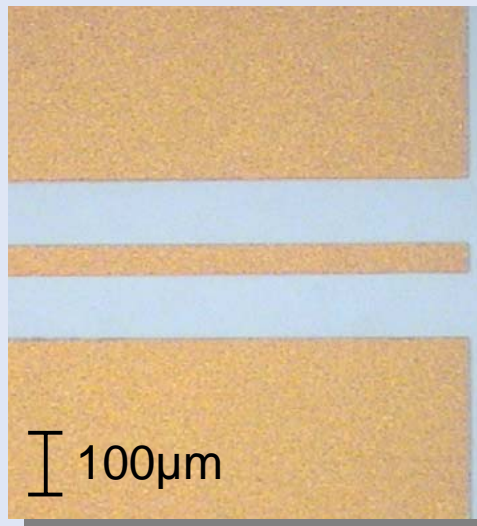
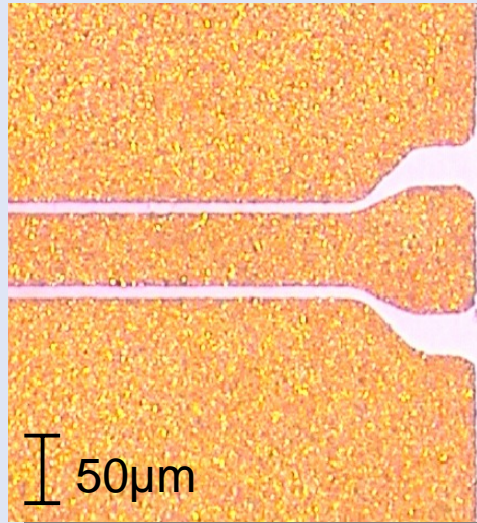
- Spannungserzeugung mit einfachem Transformator



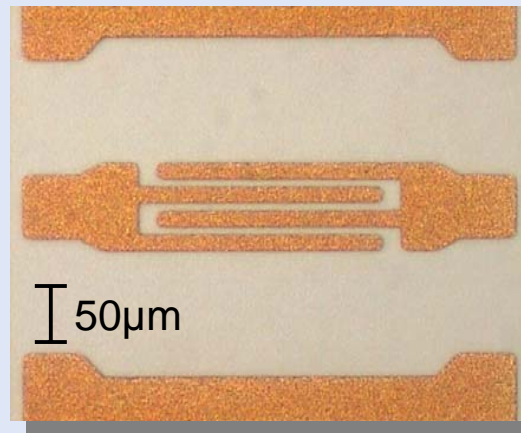


# Steuerbare Kapazitäten und Leitungen

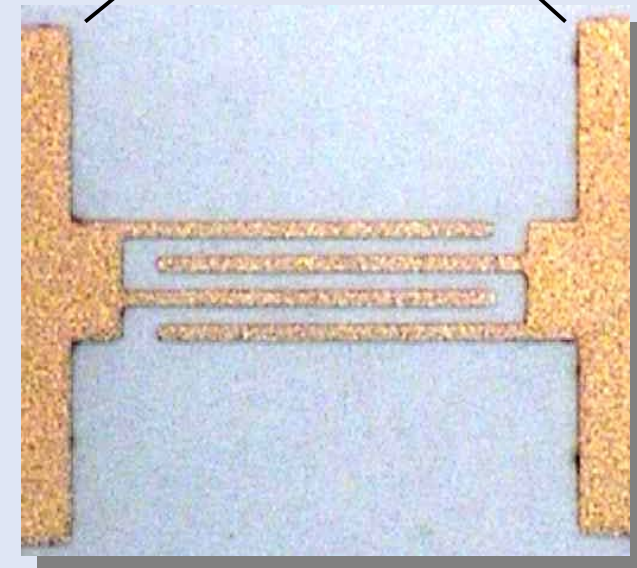
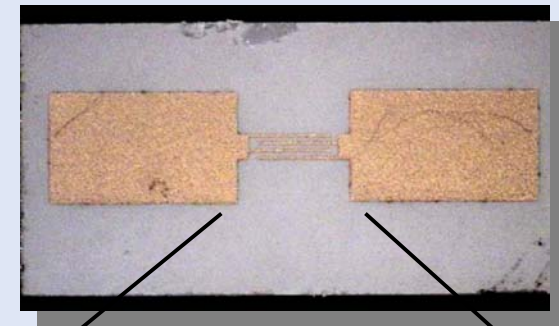
## Steuerbare Koplantarleitungen



## Koplanarer Varaktor



## Diskreter 0.4pF Varaktor (mit Bondpads)





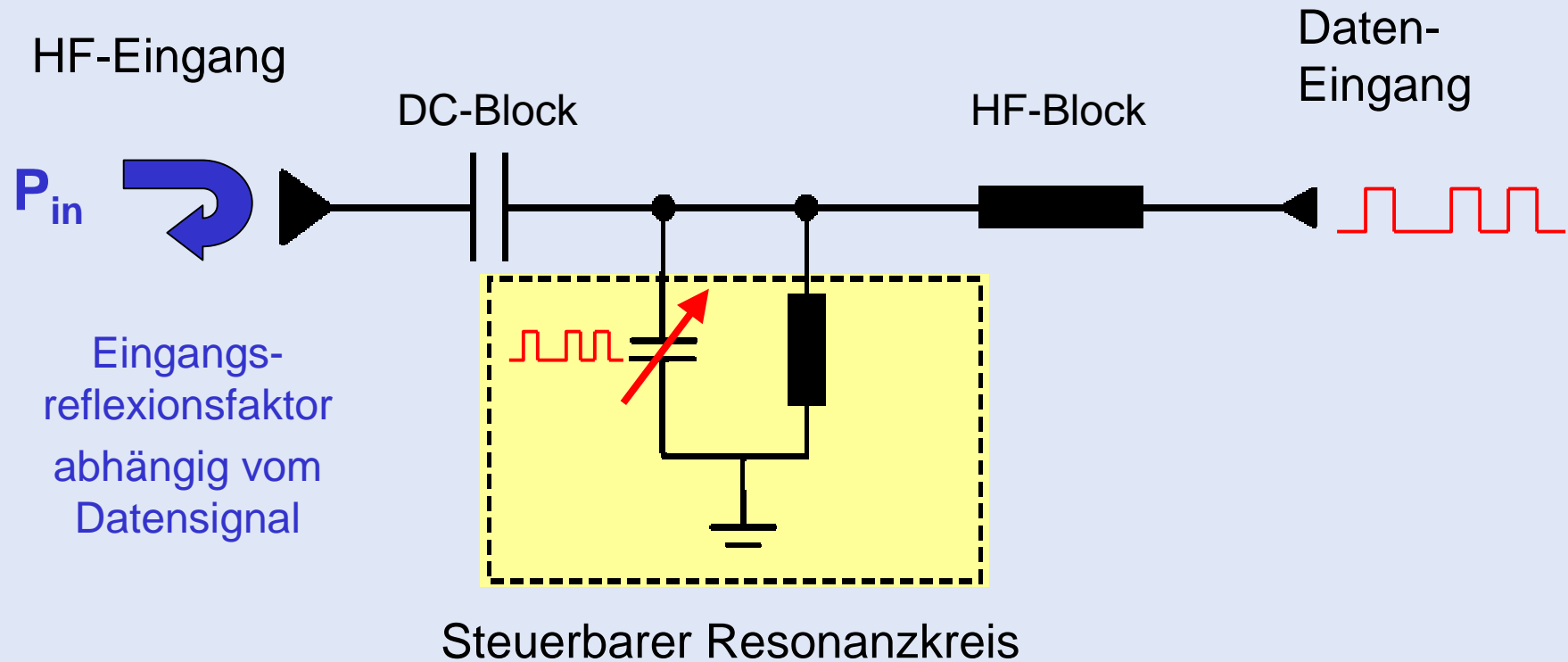
- Systembetrachtung:  
RFID Transponder im Mikrowellenbereich
- Passiv steuerbare Bauelemente:  
“Tunable Passives” mit Ferroelektrika
- Demonstratoren:  
Miniaturisierte 2.45 GHz Backscatter Modulatoren
- Zusammenfassung und Ausblick





# Modulator Schaltungsprinzip

## Reaktanzmodulator

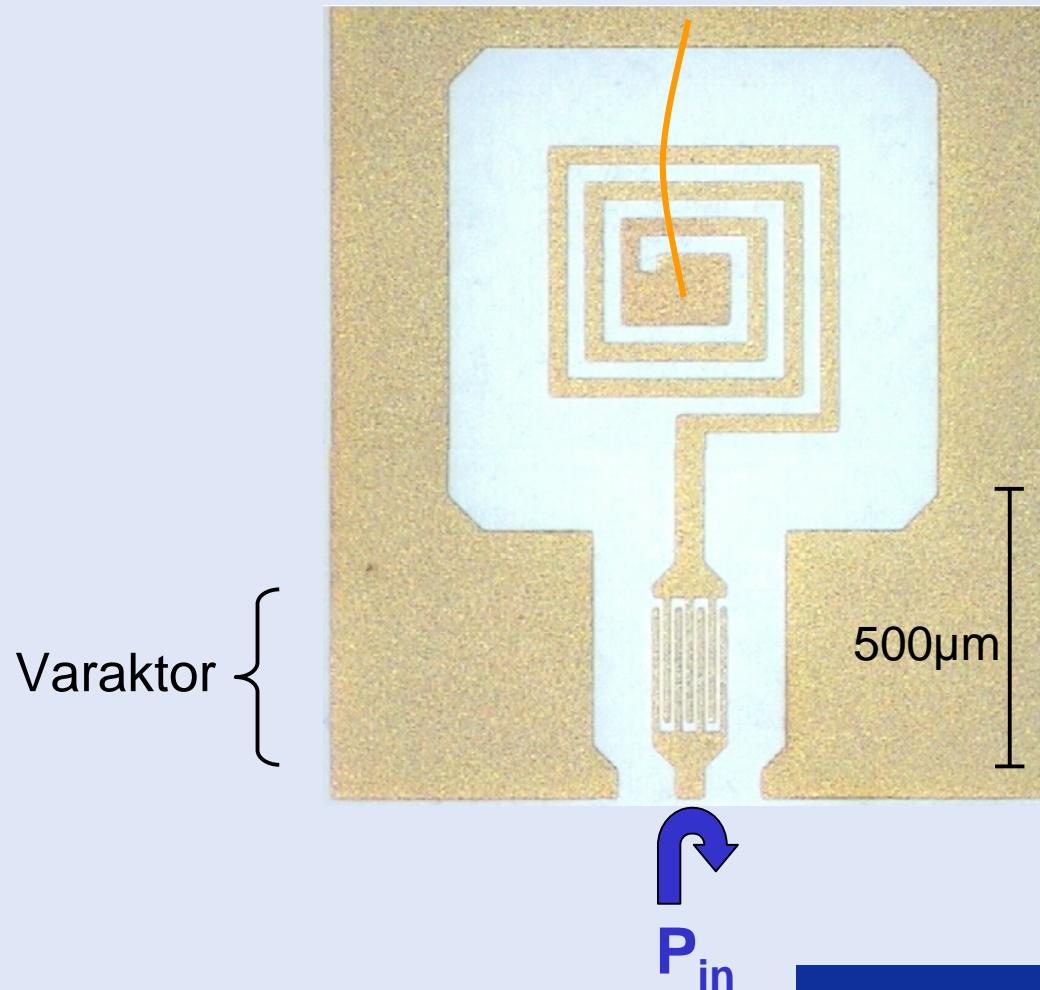






# Realisierung Serienresonator

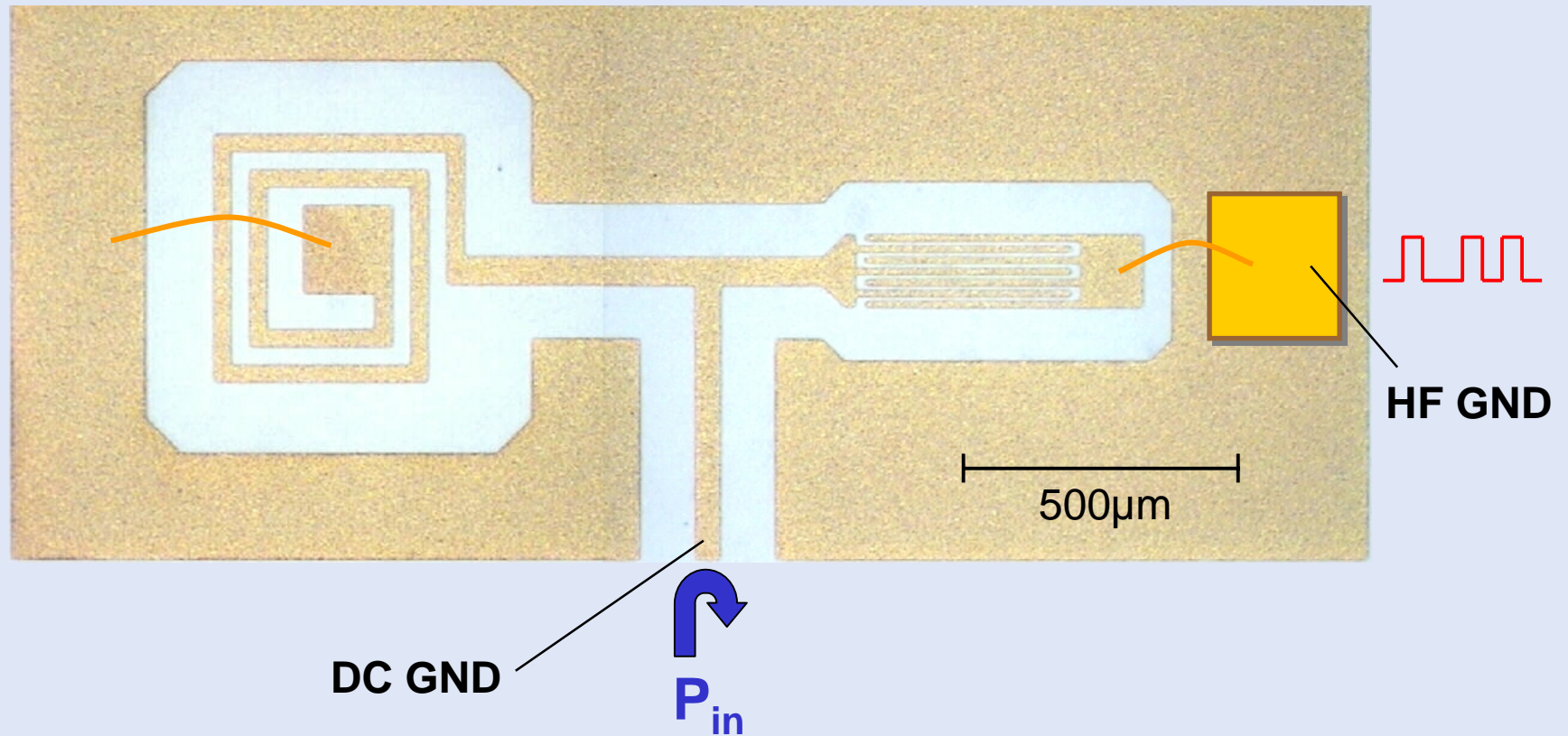
Serienresonator (1,58mm x 1,28mm)





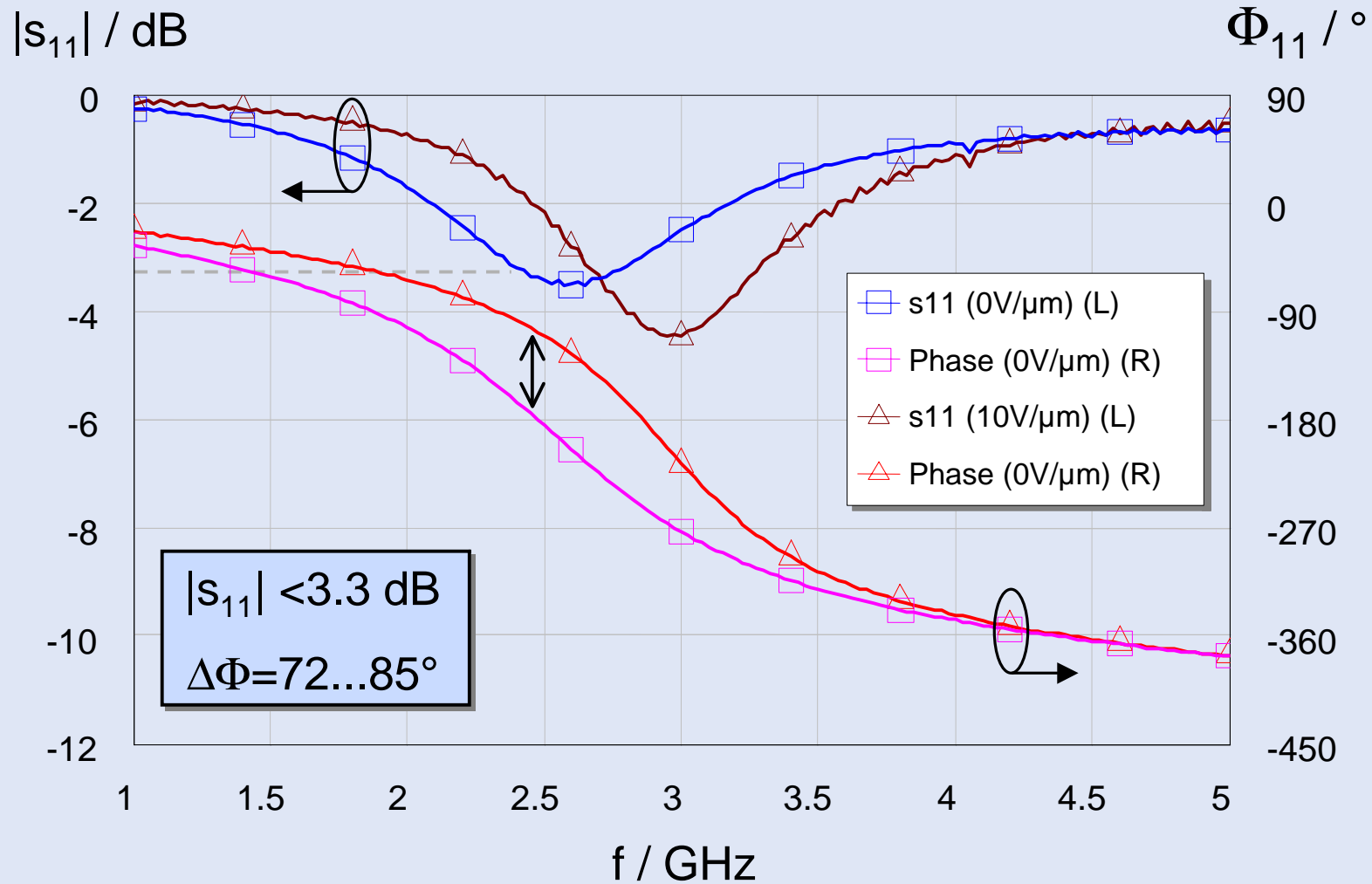
# Realisierung Parallelresonator

Parallelresonator (1,1mm x 2,4mm)





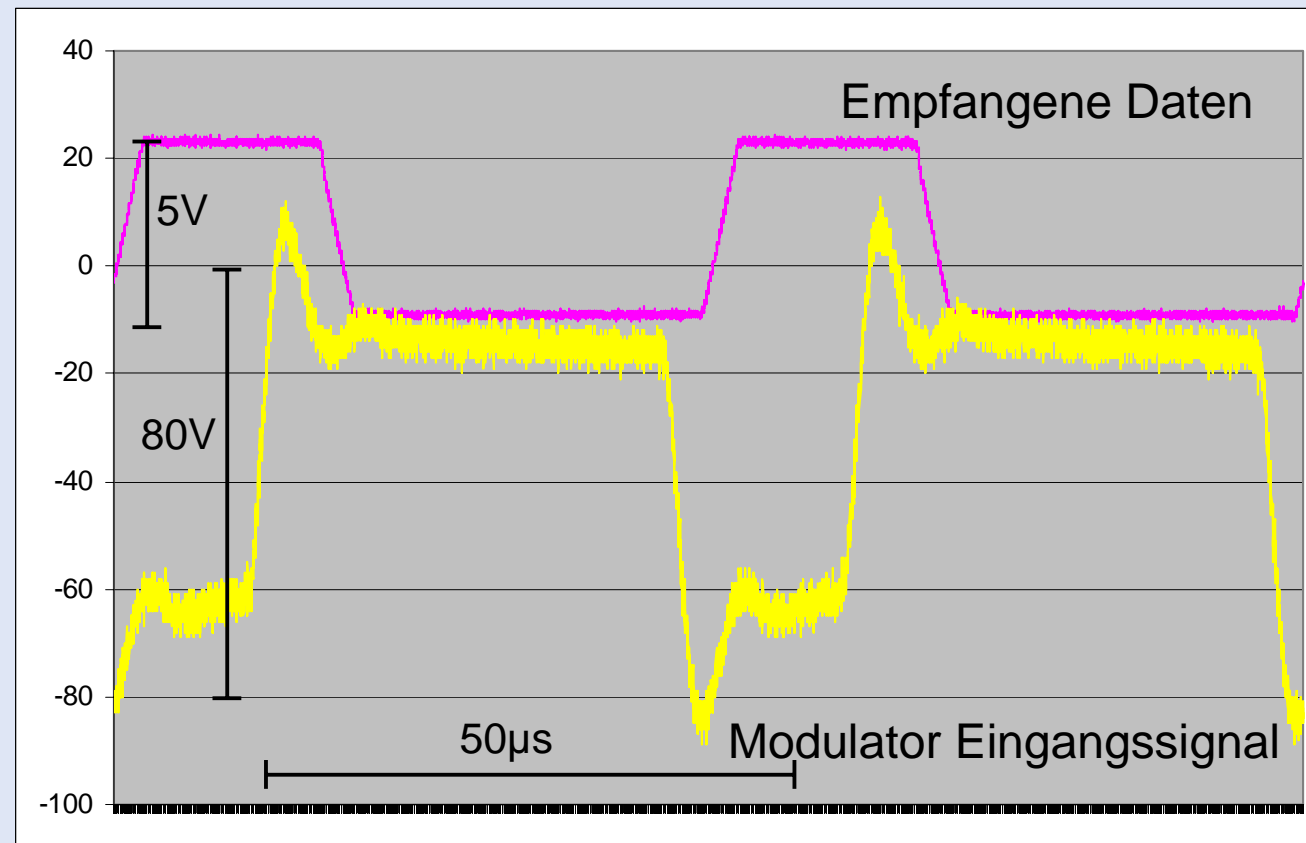
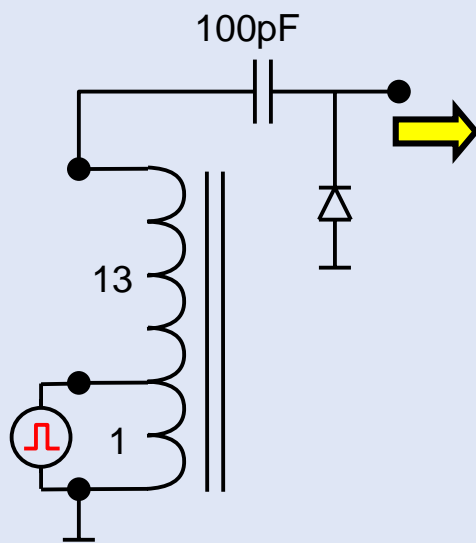
# Messwerte Serienresonator





# Systemtest – Digitale Modulation

Modulation: Rechteck mit 70% duty cycle,  $f=20\text{kHz}$



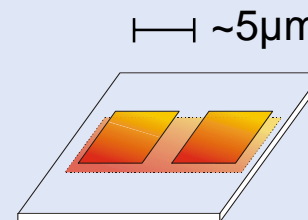
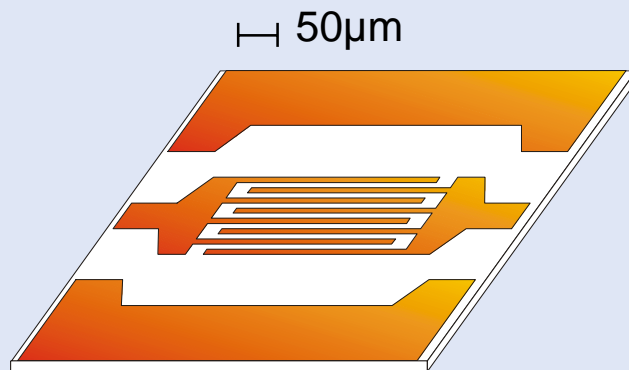


- Systembetrachtung:  
RFID Transponder im Mikrowellenbereich
  - Passiv steuerbare Bauelemente:  
“Tunable Passives” mit Ferroelektrika
  - Demonstratoren:  
Miniaturisierte 2.45 GHz Backscatter Modulatoren
- Zusammenfassung und Ausblick



# Zusammenfassung und Ausblick

- Ferroelektrika für Modulatoranwendungen geeignet
- Gleichstromfreie Bauelemente, geringe Leistungsaufnahme
- Reduktion der Steuerspannung  
Vertikale Bauelemente in Dünnschichttechnik



- Modulator als „Drop-In“ SMD Bauelement
- Spannungsversorgung durch Energieakkumulation



# Danksagung

Siemens S.R.L. Bukarest

- Vlad Tomescu

Siemens CT München

- Dr. Peter Gulden, Daniel Evers

IWE, Universität Karlsruhe

- Michael Voigts, Jin Xu, Dr. Wolfgang Menesklou

IMF III, Forschungszentrum Karlsruhe

- Florian Paul

