



---

# Seminar Nachrichtentechnik WS 2005/2006

## Modellierung von Kanälen mit Mehrwegeausbreitung

*Felix Bruns*

- 1 Mobilfunkkanal
- 2 Stochastische Beschreibung
- 3 Simulationsmodell
- 4 Beispiel
- 5 Ausblick





# Mobilfunkkanal

## Auftretende Effekte

- Pfadverlust

Freiraum:  $\alpha \sim r^2$

Realität:  $\alpha > r^4$

- Zeitvarianz

$$y(t) = f(t) x(t) \longrightarrow$$

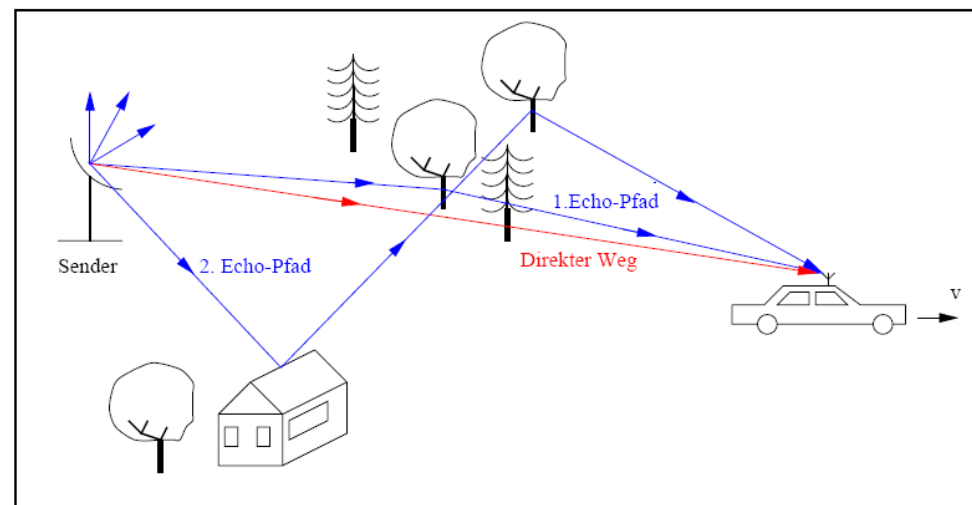
$$Y(j\omega) = \frac{1}{2\pi} F(j\omega) * X(j\omega)$$

- Mehrwegeausbreitung

*Beugung, Streuung, Reflexion*

- Abschattung

- Doppler- Effekt



[6]





# Mobilfunkkanal

## Mehrwegeausbreitung

*Impulsantwort:*

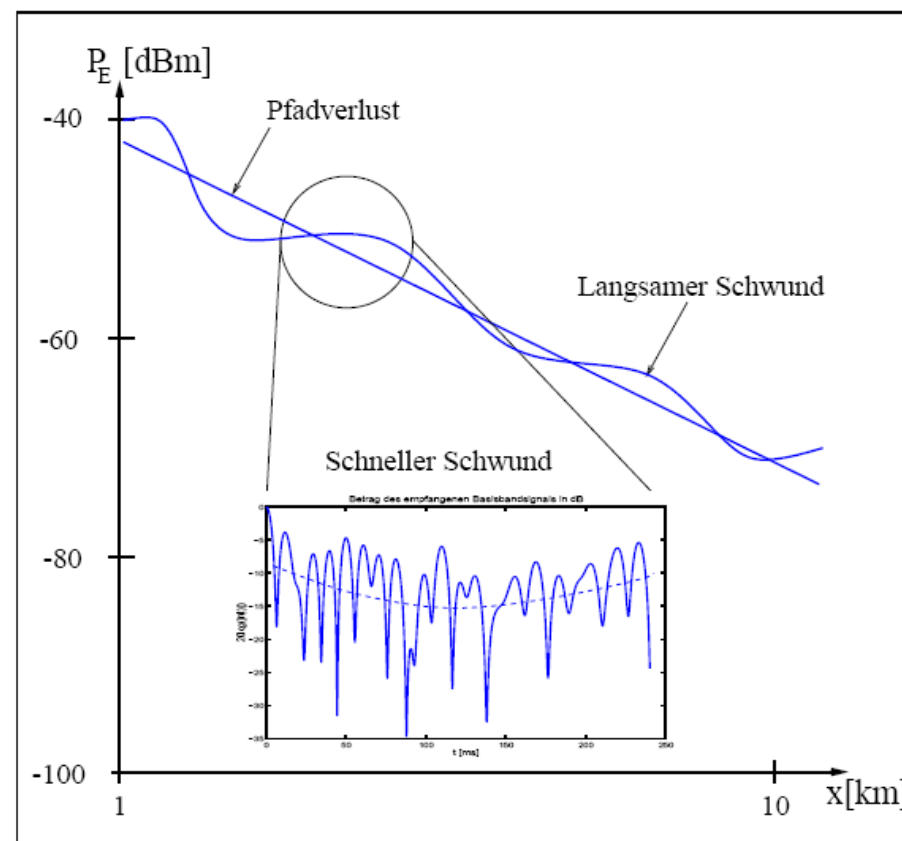
$$h(t, \tau) = \sum_{n=1}^N c_n(t) \delta(\tau - \tau_n) \exp(j\varphi_n(t))$$

- Fast Fading
- Delay Spread
- Dopplerverschiebung

*Empfangssignal (sinusförmige Anregung):*

$$r(t) = \sum_{n=1}^N a_n(t) \exp(j2\pi f_0 t) \exp(-j\beta v t \cos \theta_n)$$

Wellenzahl :  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$



[6]





# Mobilfunkkanal

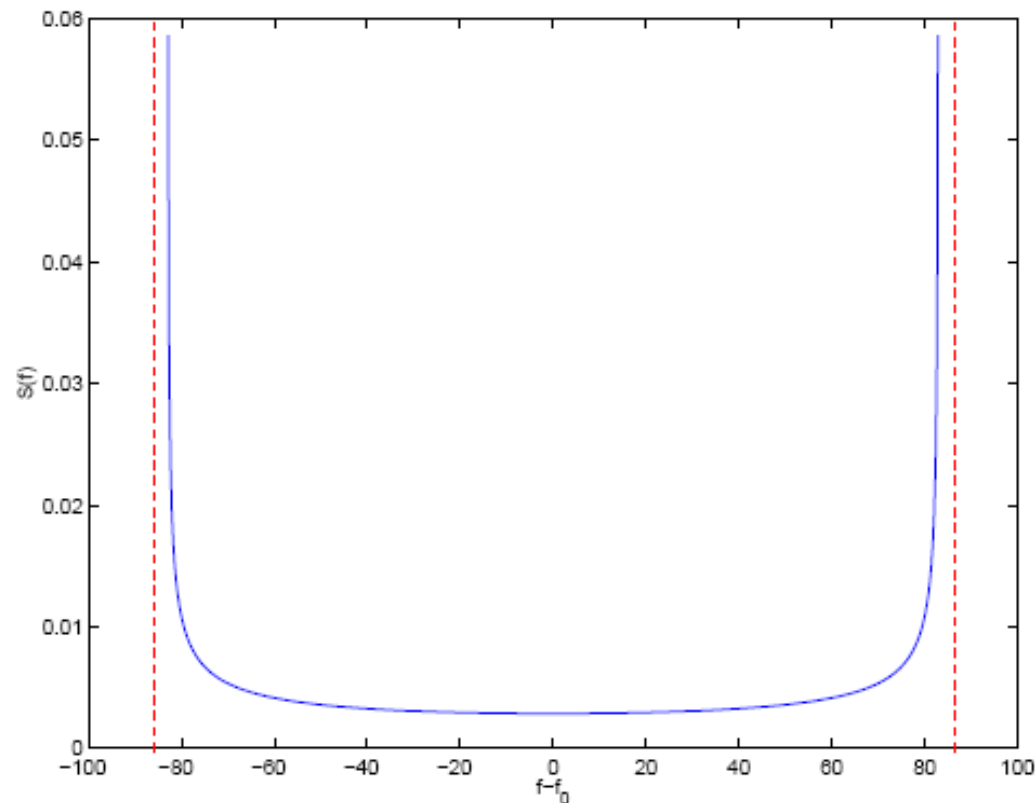
## Doppler Mehrwegeausbreitung

Dopplerfrequenz:

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta = f_0 \frac{v}{c} \cos \theta$$

Spektrale  
Empfangsleistungsdichte  
(nach Clark):

$$S(f) = \frac{A_c}{\sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_{d,max}}\right)^2}}$$



Dopplerspektrum für GSM,  $f_{d,max} = 83\text{Hz}$

[6]





# Mobilfunkkanal

---

## Notwendigkeit für Kanalmodelle

- Leistungsfähigkeits- Vorhersage
- Spezifizierbarkeit
- Reproduzierbarkeit

## Implementierungsmöglichkeiten

- Hardware / Software
- stochastische / deterministische Beschreibung





Umformen des  
Empfangssignal:

$$r(t) = A \exp(j\psi) \exp(j2\pi f_0 t)$$

Amplitude:

$$A = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N a_i \cos \psi_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^N a_i \sin \psi_i\right)^2}$$

Phase:

$$\psi = \arctan \frac{\sum_{i=1}^N a_i \sin \psi_i}{\sum_{i=1}^N a_i \cos \psi_i} \quad \psi_i = -\beta v t \cos \theta_i$$

Annahme

Real- und Imaginär Anteile gleichverteilt in  $[0;1]$

→ Phase gleichverteilt in  $[0, 2\pi[$





# Stochastische Beschreibung

## Rayleigh- Verteilung

*Verteilungsdichtefkt. der Amplitude:*

$$f(A) = u(A) \frac{A}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{A^2}{2\sigma^2}\right)$$

u : Sprungfunktion

*Verteilungsdichtefkt. der Phase:*

$$f(\psi) = \frac{1}{2\pi} \quad ; \quad 0 \leq \psi < 2\pi$$

## Gültigkeitsbereich

keine „Sichtverbindung“ zu Sender

- dicht bebaute Gegenden
- Makrozellen





## Rice- Verteilung

Auftreten einer dominierenden Komponente

*Verteilungsdichtefkt. der Amplitude:*

$$f(A) = u(A) \frac{A}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{A^2 + s^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{As}{\sigma^2}\right)$$

$I_0$  : *Besselfunktion nullter Ordnung*

## Gültigkeitsbereich

- Sichtverbindung
- Mikrozellen

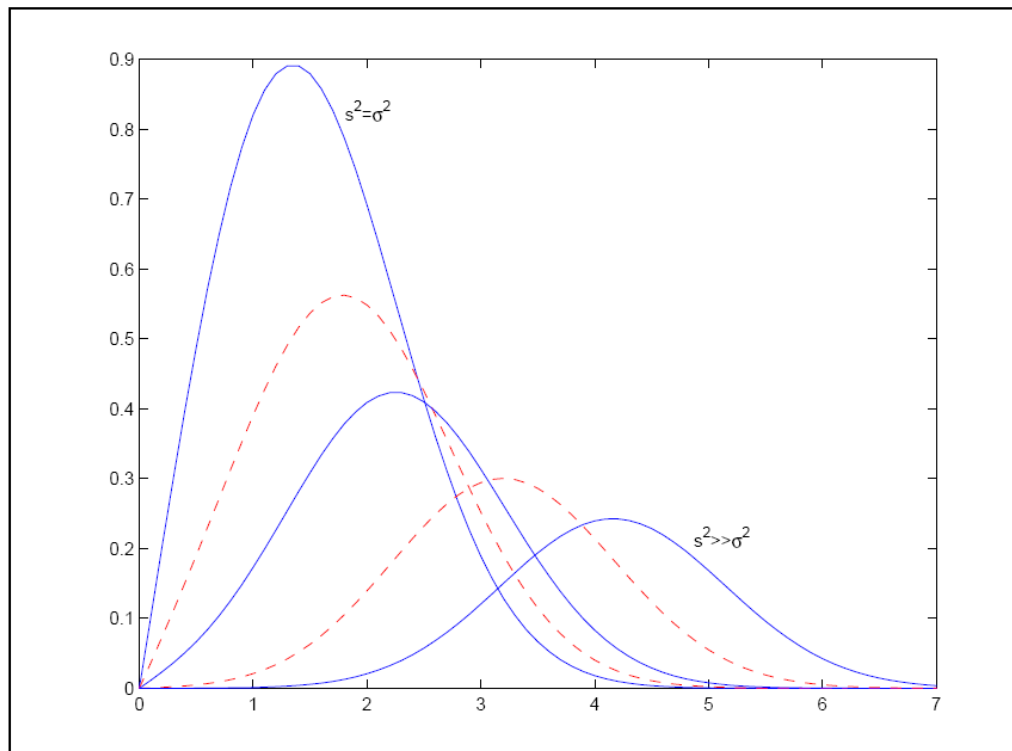






## Eigenschaften von Rayleigh- & Rice- Verteilung

*Rice –Verteilung:*



[6]

Erlauben Rückschlüsse auf

- Wahrscheinlichkeit für Unterschreiten eines Pegels
- Level- Crossing- Rate
- Dauer von Fadingeinbrüchen
- ...

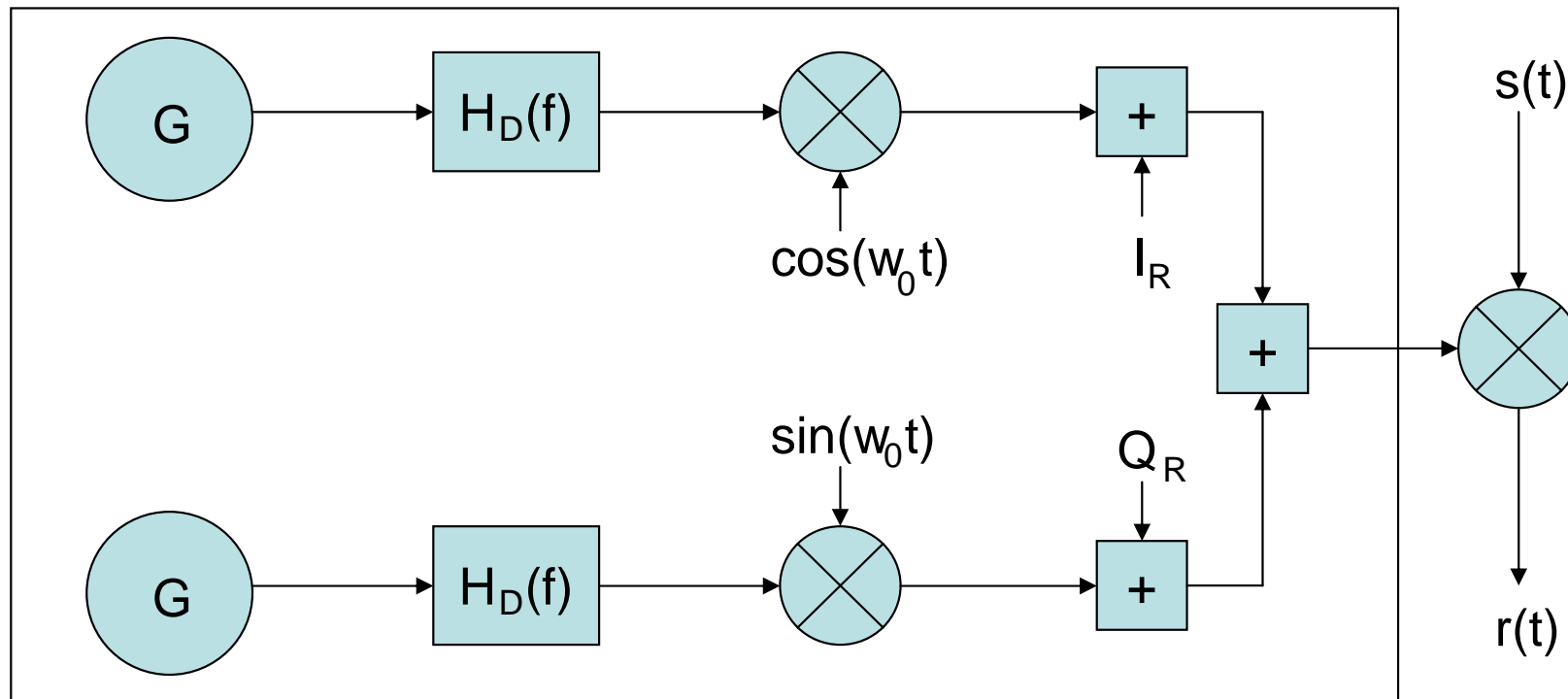




# Simulationsmodell

## Nicht- frequenzselektiver Kanal

*Fading- Module:*



G: Rauschgeneratoren

H :Filter mit Dopplerspektrum

$I_R / Q_R$  : Real-/Imaginärteil der Komponente für Rice- Kanal

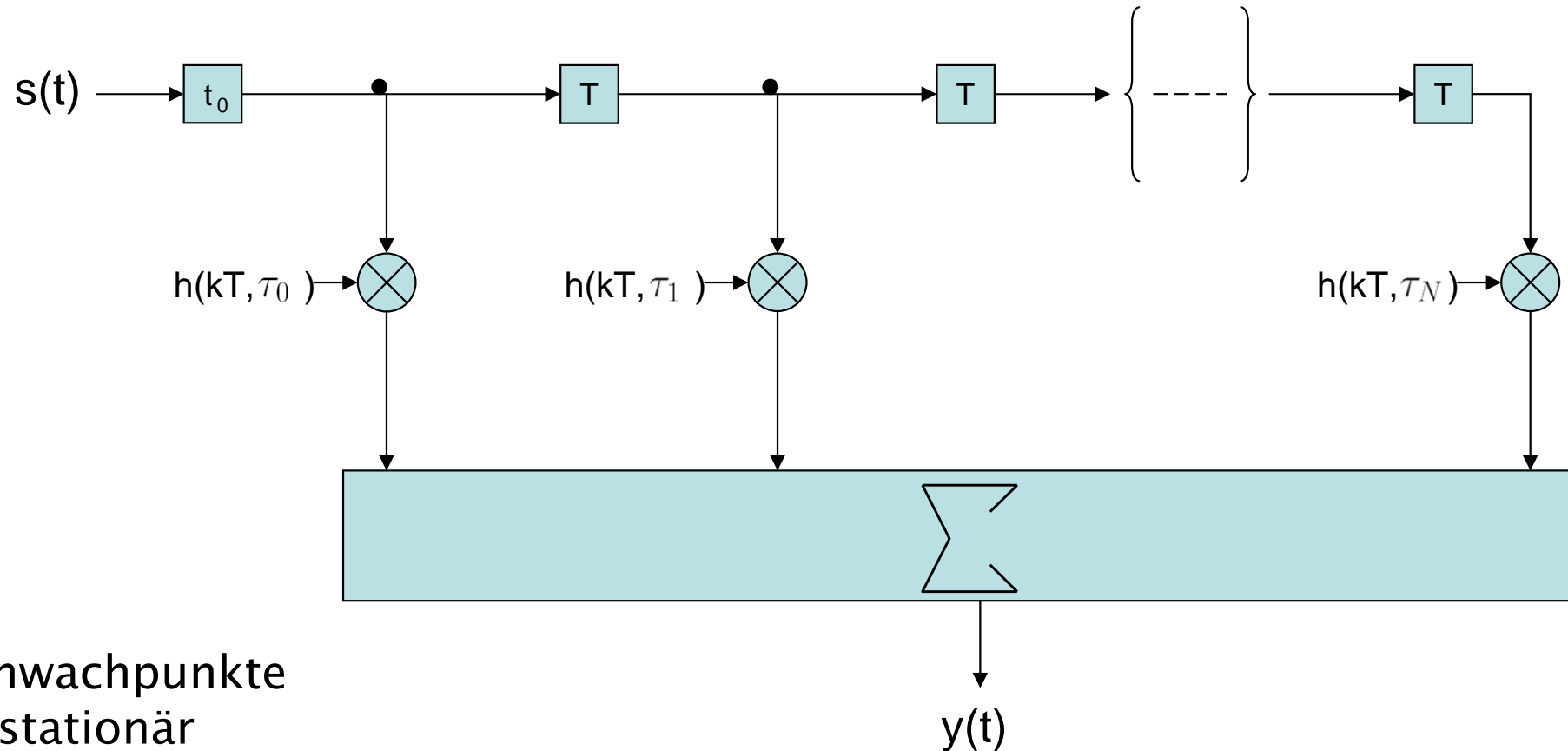




# Simulationsmodell

## Frequenzselektiver Kanal

WSSUS: Wide Sense Stationary Uncorrelated Scattering



### Schwachpunkte

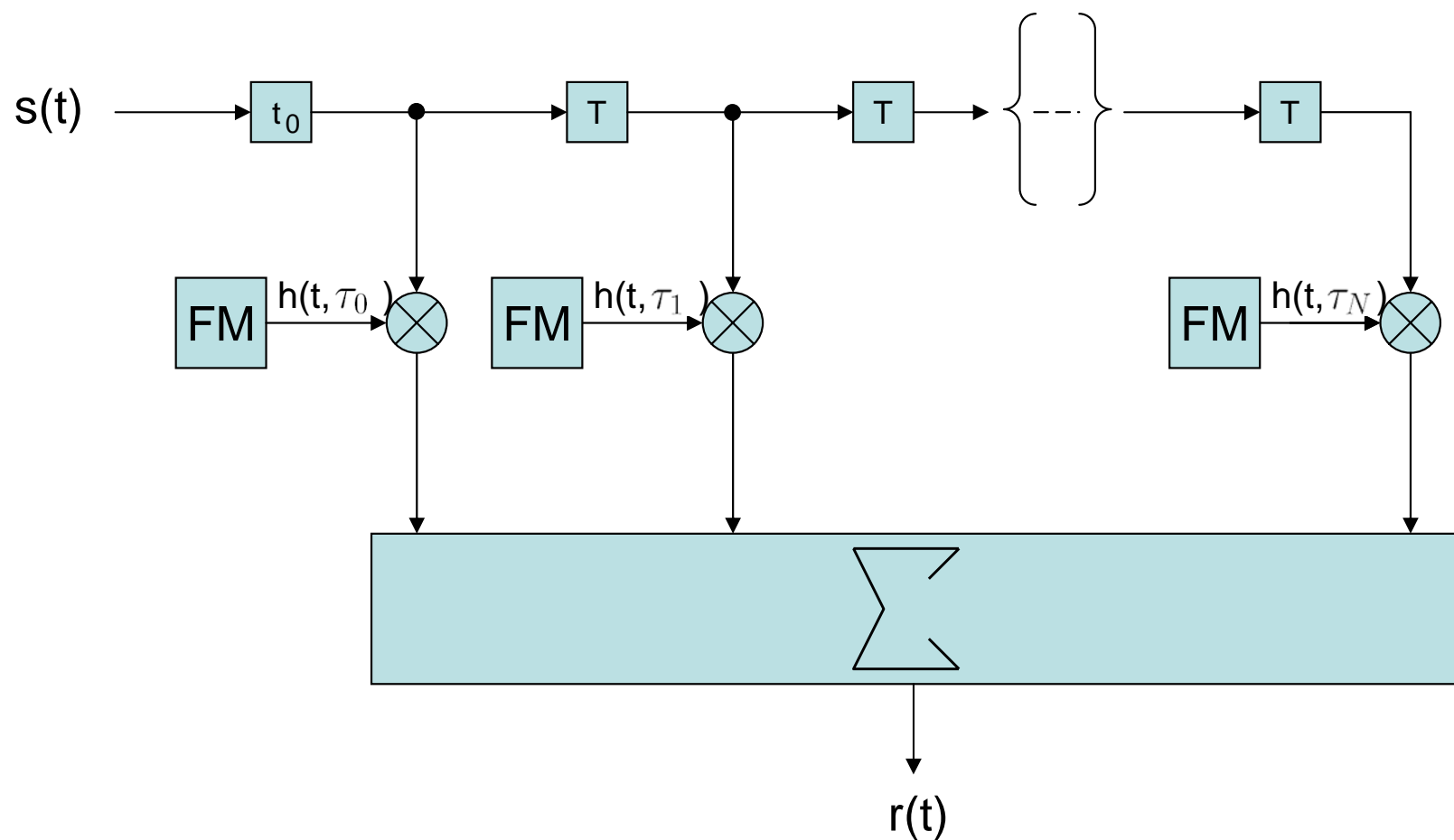
- stationär
- keine Berücksichtigung d. Doppler- Effektes





# Simulationsmodell

## Frequenzselektiver Kanal



FM: Fading Module





# Beispiel: C.O.S.T.– Kanalmodell

European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research

Aufgaben

- Koordination
- Standardisierung



Kanalmodelle:  
Definition von  
Szenarien

Kanalmodell nach COST207

$$h(t, \tau) = \frac{1}{\sqrt{N_p}} \sum_{n=1}^{N_p} \exp(j\alpha_p) \delta(\tau - \tau_p) \exp(-j\beta vt \cos \theta_p)$$

cell type	environment	$N_p$	$p$	$\Omega_p$	$m_p$	$\alpha_p$	$\tau_p$ in $\mu s$	$\rho(\tau)$
macro	hilly terrain (HT)	100	1-74	0.01	1	$[0, 2\pi]$	$[0, 2]$	$\propto e^{-3.5\tau_p/\mu s}$
			75-100	0.01	1	$[0, 2\pi]$	$[15, 20]$	$\propto 0.1 e^{15-\tau_p/\mu s}$
	bad urban (BU)	100	1-68	0.01	1	$[0, 2\pi]$	$[0, 5]$	$\propto e^{-\tau_p/\mu s}$
			69-100	0.01	1	$[0, 2\pi]$	$[5, 10]$	$\propto 0.5 e^{5-\tau_p/\mu s}$
	typical urban (TU)	100	1-100	0.01	1	$[0, 2\pi]$	$[0, 7]$	$\propto e^{-\tau_p/\mu s}$
	rural area (RA)	100	1-100	0.01	1	$[0, 2\pi]$	$[0, 0.7]$	$\propto e^{-9.2\tau_p/\mu s}$

Einfallswinkel  $\theta$  gleichverteilt in  $[0, 2\pi[ \rightarrow$  Dopplerspektrum nach Clark [5]

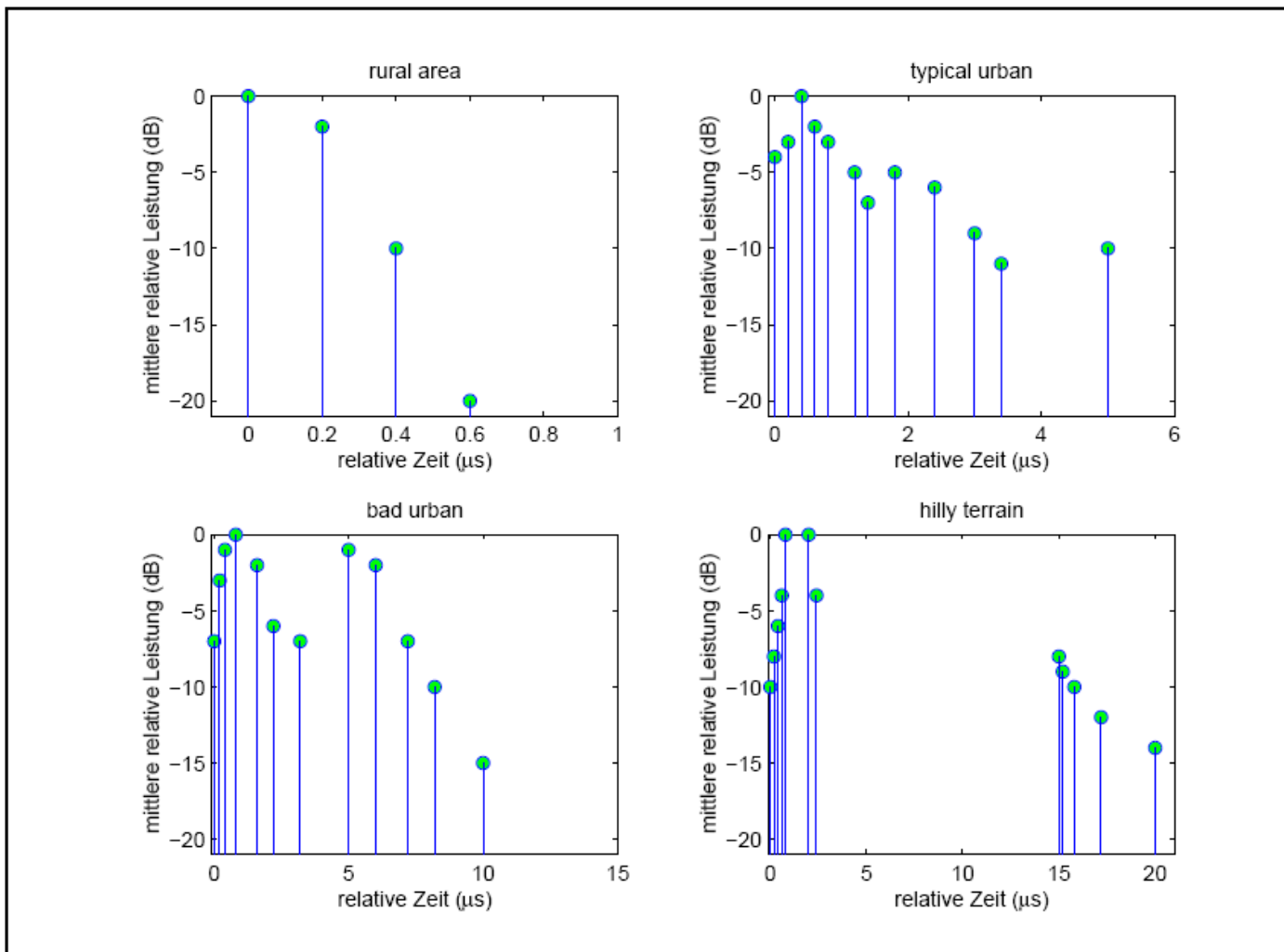
$\Omega_p$  : normalisierte Energie pro Pfad ;  $\rho(\tau)$  : Verzögerungs- Leistungsdichte





# Beispiel: C.O.S.T.- Kanalmodell

## COST207 Beispielumgebungen



[6]





## Technische Entwicklung



## Erweiterung der Kanalmodelle

- höhere Bandbreiten
- neue Funktionen
- neue Zugriffsverfahren
- Verbesserung der Antennen

- Definition neuer Umgebungen
- Erweiterung der Parameter
- Richtungs- Anisotropie
- ...

Ständige Anpassung und Weiterentwicklung der  
Kanalmodelle notwendig.





## Inhalt

- Übertragungs- Effekte in Mobilfunkkanälen
- Mehrwegeausbreitung:
  - Möglichkeiten der stochastischen Beschreibung
  - Simulationsmöglichkeiten
  - Beispiel eines einfachen, geläufigen Kanalmodells







# Quellenverzeichnis

---

- [1] J. D. Parsons; „The Mobile Radio Propagation Channel“; John Wiley & Sons, Ltd; 2000
- [2] K. David, T. Benkner; „Digitale Mobilfunksysteme“; Teubner; 1996
- [3] Luis M. Correia; „Wireless Flexible Personalised Communications“; John Wiley & Sons, Ltd; 2001
- [4] R. Machauer; „Multicode Detektion im UMTS“; Dissertation; Universität Karlsruhe; 2002;  
<http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/cgi-bin/pslist?path=/&sort=1>
- [5] S. Kaiser; Multi- Carrier CDMA Mobile Radio Systems; Dissertation; VDI- Verlag; 1998;  
[www.kn-s.dlr.de/Groups/Mobile/Publications/PDF/Kaiser\\_Diss98.pdf](http://www.kn-s.dlr.de/Groups/Mobile/Publications/PDF/Kaiser_Diss98.pdf)
- [6] J. Götze; „Digitale Mobilfunksysteme“; Vorlesungsunterlagen, Universität Dortmund

