Messung und Modellierung von Nebensprechstörungen auf xDSL-Kanälen

Alfred Voglgsang

ITG Diskussionssitzung

Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK

Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

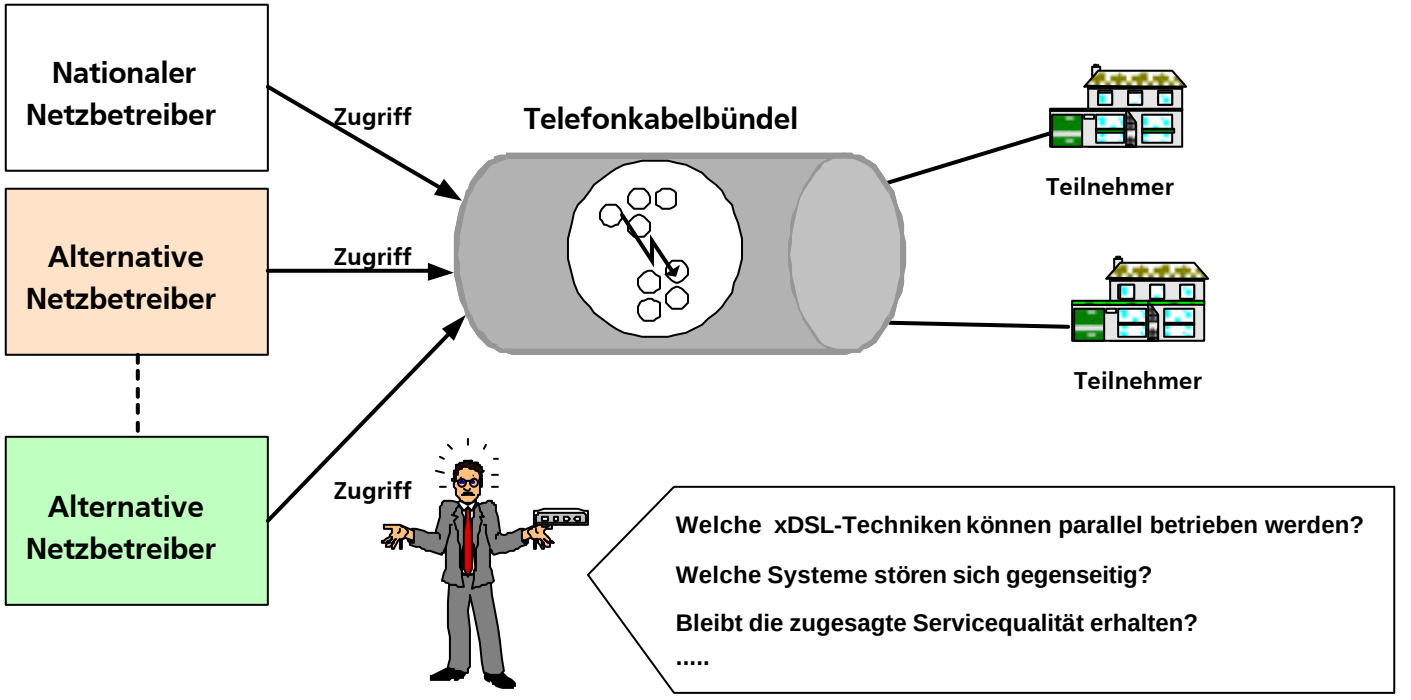
Gliederung

1. Aktuelle Ausgangssituation
2. Nebensprechen auf xDSL-Kanälen
3. Simulation von Nebensprechstörungen durch Standardmodelle
4. Messung von Nebensprechstörungen
5. Neues Nebensprechmodell
6. Zusammenfassung

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de

Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

Das „entbündelte“ Teilnehmerzugangsnetz



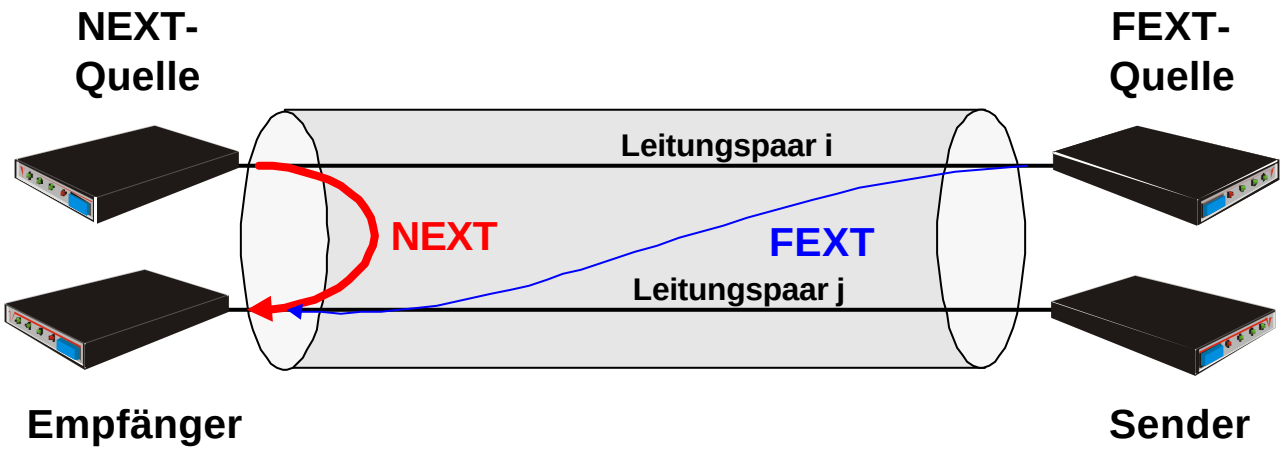
Fazit:

- Verschiedene Netzbetreiber greifen auf ein Kabelbündel zu
- Verschiedene xDSL-Techniken werden parallel betrieben
- Viele Fragen für die Netzbetreiber …

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

Fraunhofer
ESK
Einrichtung
Systeme der
Kommunikationstechnik

Nebensprechen



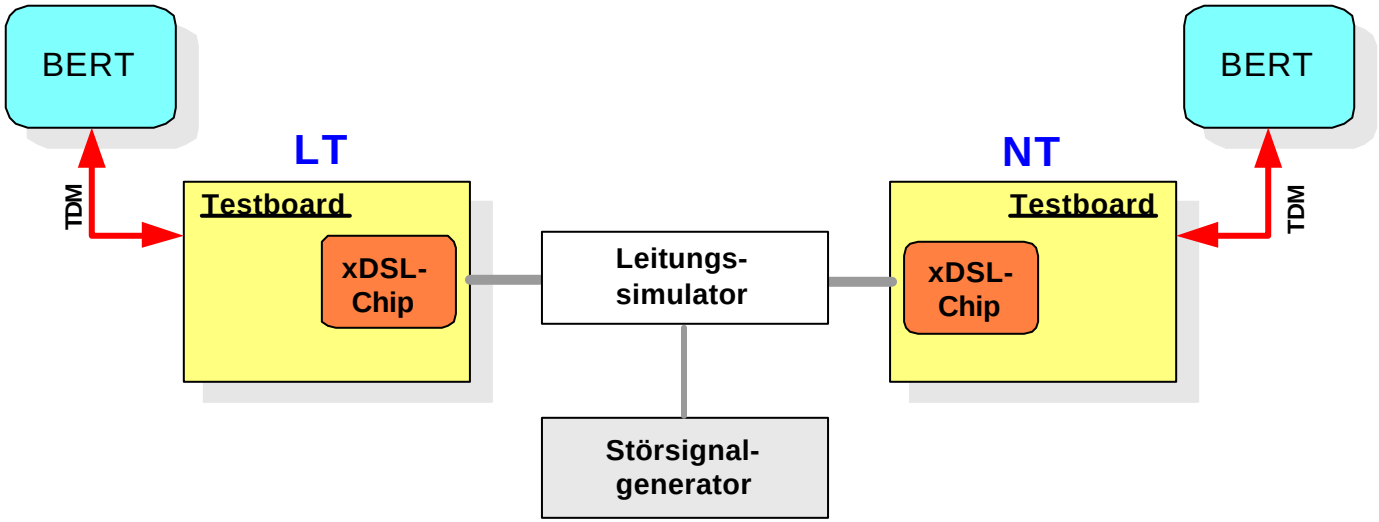
<u>Nebensprechen bestimmt:</u>

- ⇨ Signal-Rauschleistungsverhältnis auf den Kupferdoppeladern
- ⇨ Leistungsfähigkeit der xDSL-Verbindung:
  - Vom Kunden nutzbare Datenrate
  - Übertragungsreichweite

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK
Fraunhofer Einrichtung
Systeme der
Kommunikationstechnik

xDSL-Systemtests und Standardnebensprechmodelle



Nebensprechmodelle ETSI TM6 und ITU-T

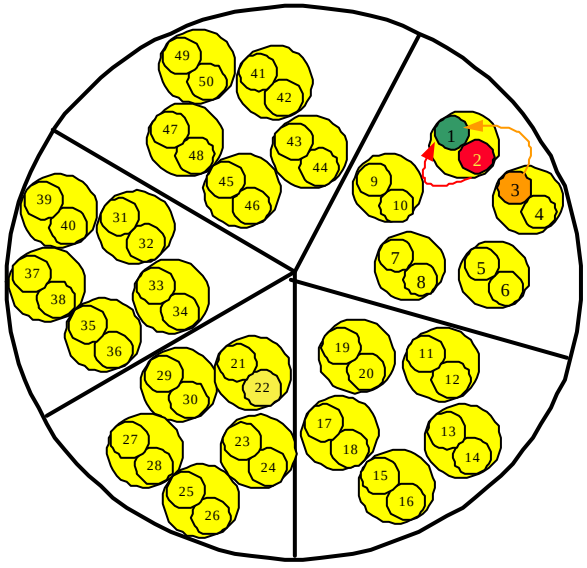
$$S_{NEXT}(f,l) = \left|H_{NEXT}(f,l)\right|^2_{ETSI} \cdot S_{Stör}(f) = \left[K_{NEXT} \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{0,75} \cdot \sqrt{1-\left|s_{T0}(f,l)\right|^4}\right]^2 \cdot S_{Stör}(f)$$

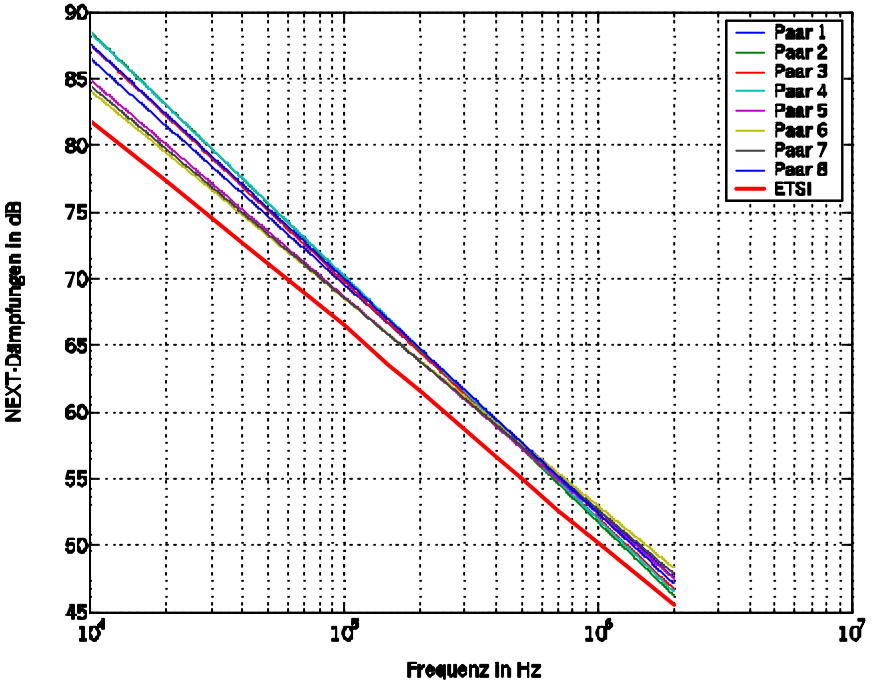
$$S_{FEXT}(f,l) = \left|H_{FEXT}(f,l)\right|^2_{ETSI} \cdot S_{stör}(f) = K_{FEXT} \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 \cdot \frac{l}{L_0} \cdot \left|s_{T0}(f,l)\right|^2 \cdot S_{Stör}(f)$$

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

Messung von Nebensprechstörungen





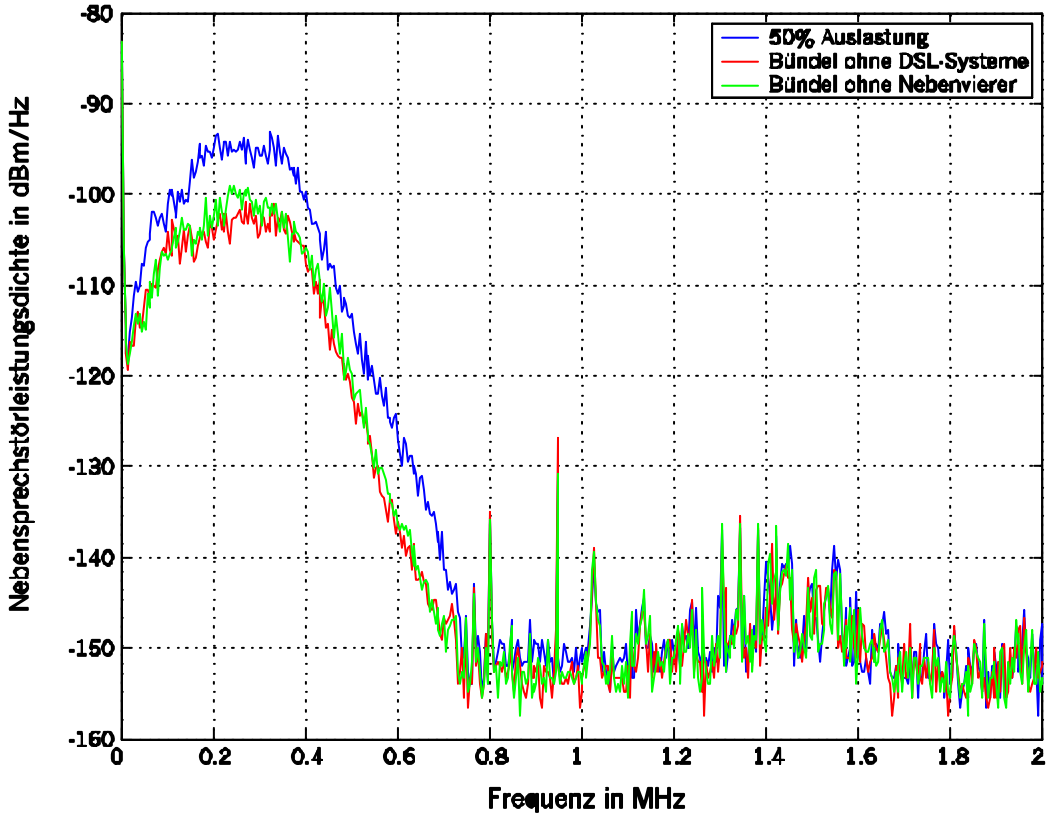
Ursachen für die Abweichungen

- Individuelle Inhomogenitäten im Kabelaufbau werden nicht berücksichtigt
- Statistisches „1% Worst-Case Power-Sum Modell“
- Kopplungskonstanten europäischer Kabel sind noch nicht endgültig standardisiert
- Feste Szenarien für die im Kabelbündel auftretenden Störungen

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK
Fraunhofer Einrichtung
Systeme der
Kommunikationstechnik

Messung von Nebensprechstörungen



Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

Problem: Die Abhängigkeit der Nebensprechstörungen von der jeweiligen Beschaltung wird von den standardisierten Nebensprechmodellen nicht explizit berücksichtig

ESK
Fraunhofer Einrichtung
Systeme der
Kommunikationstechnik

Auswirkungen auf Systemtests und Netzplanung

Systemtests

- Die Nebensprechmodelle bisheriger Störsignalgeneratoren reproduzieren nur eingeschränkt die realen Nebensprechverhältnisse
- Für Zuverlässigkeitsaussagen ist die Systemleistung unter realen Bedingungen von Interesse

⇒ Systemtests am realen Telefonnetz sind nicht möglich!

⇒ „Programmierbarer Störsignalgenerator“ benötigt Messergebnisse

Netzplanung

- Standardmodelle sind nur eingeschränkt zur Netzplanung verwendbar
- Unsichere Aussagen welche Dienste parallel mit welcher Performance an einer Telefonanschlussleitung angeboten werden können

Neuer Ansatz:

Einbeziehung der lokalen Gegebenheiten zur realistischen Simulation von Nebensprechen bei xDSL-Systemtests und zur Beschaltung von Anschlussleitungen

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK
Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

Neues Nebensprechmodell

Modellgleichung:

$$S_{NEXT}(f) = \sum_{i=1}^{N} |H_i(f)|^2 \cdot S_i(f)$$

$$|H_i(f)|^2 \approx k_i \cdot f^{1,5}$$

$$S_{NEXT}(f) \approx \sum_{i=1}^{N} k_i \cdot f^{1,5} \cdot S_i(f)$$

Bekannt aus Messung:

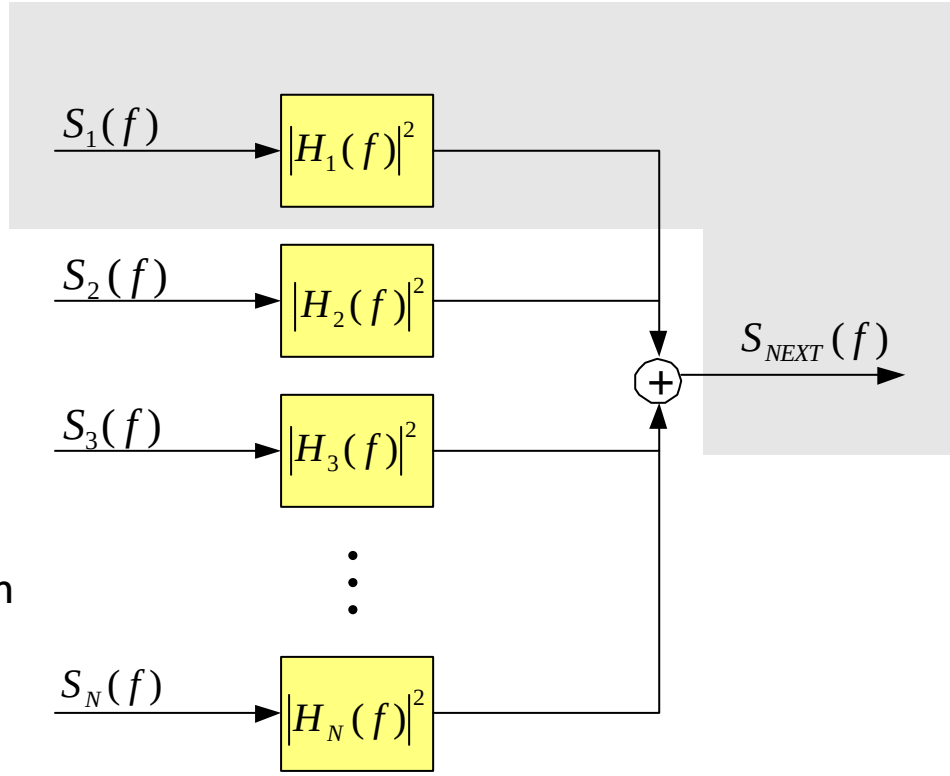
$S_i(f)$ Sendespektren

$S_{NEXT}(f)$ NEXT-Spektrum

Gesucht:

k_i Kopplungskonstante

Standard-Nebensprechmodell



Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK
Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

Multiples lineares Regressionsmodell

<u>Regressionsfunktion:</u> $S'_{NEXT}(f_i) = \frac{1}{f_i^{1.5}} \cdot S_{NEXT}(f_i)$

$$S'_{NEXT}(f_i) = k_1 \cdot S_1(f_i) + \ldots + k_N \cdot S_N(f_i) + e_i$$

N Anzahl der Nebensprechstörer

A Anzahl der gemessenen Frequenzpunkte

e_i Fehler (Residuen)

<u>Minimierungsproblem:</u>

$$\sum_{i=1}^{A} \left(S'_{NEXT}(f_i) - k_1 \cdot S_1(f_i) - \ldots - k_N \cdot S_N(f_i)\right)^2 \rightarrow \min_{k_1,\ldots,k_N}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{\hat{k}} = \left(\mathbf{S}^T \mathbf{S}\right)^{-1} \mathbf{S}^T \vec{S}'_{NEXT}}$$

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK
Fraunhofer Einrichtung
Systeme der
Kommunikationstechnik

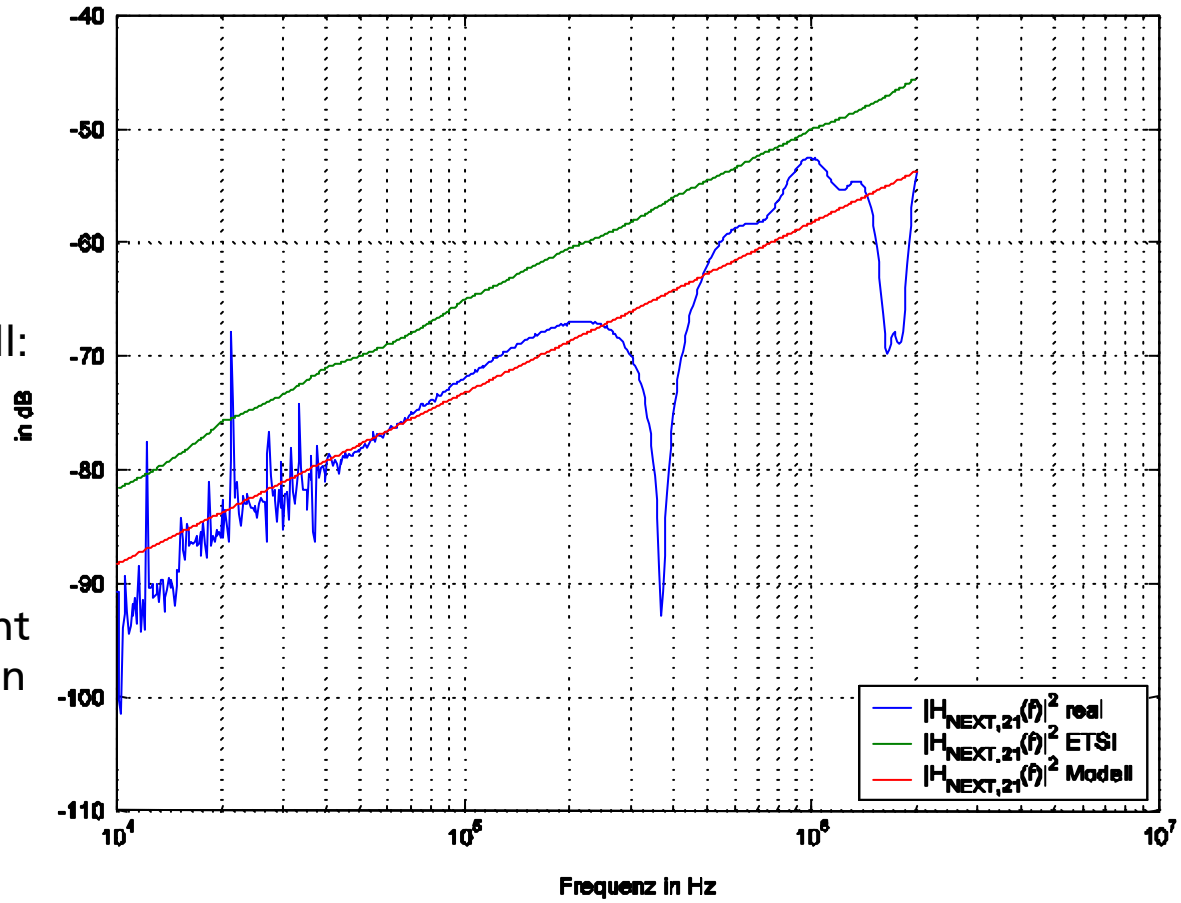
Simulationsergebnisse

Mittlerer Fehler:

- Standard- Modell: 16.9312 dB
- Modifiziertes Modell: 0.8137 dB
- Verbesserung: 16,1175 dB

Korrelationskoeffizient Messung ⇔ Simulation

$$r = 0.84$$



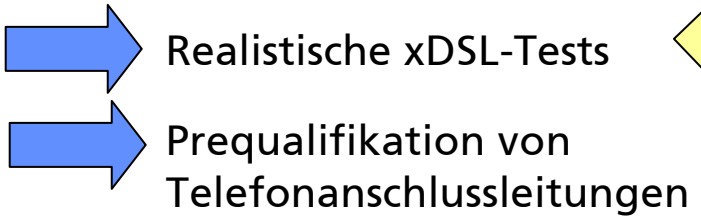
Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

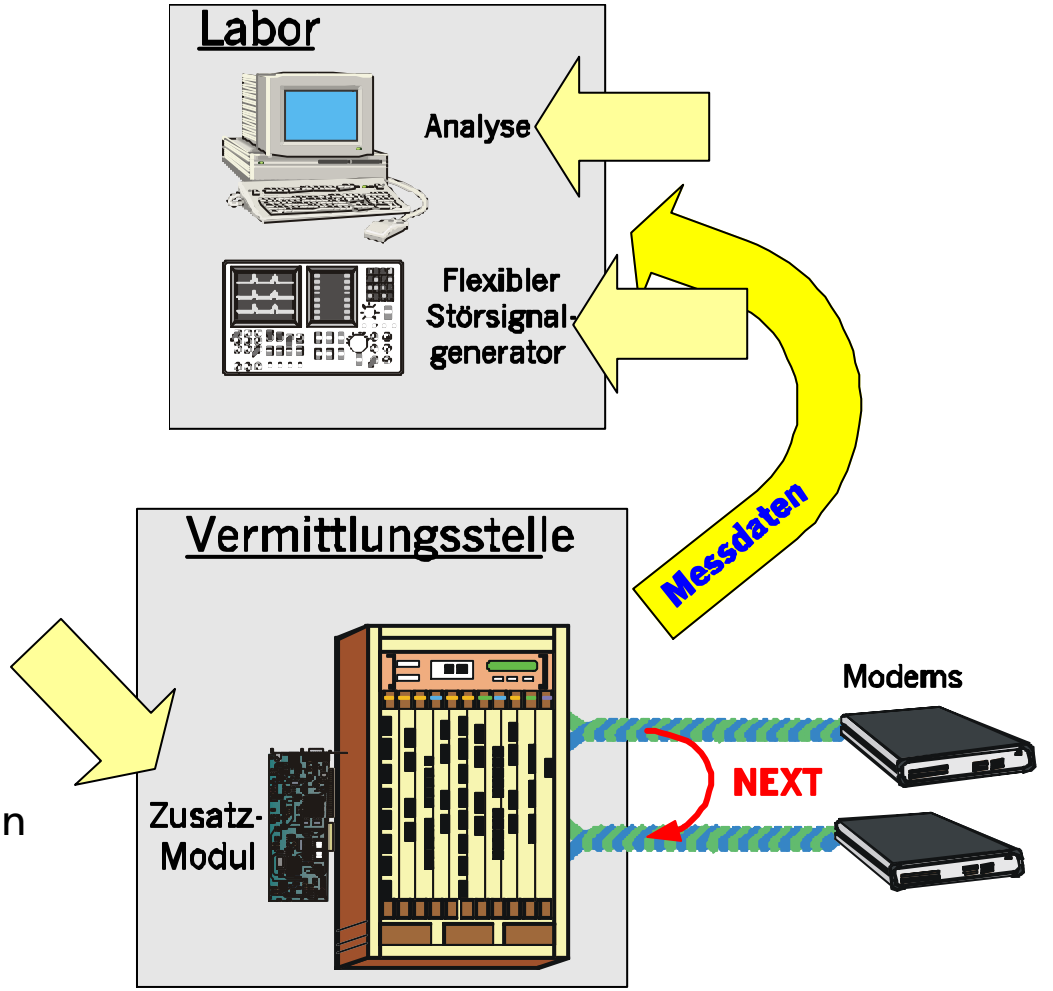
ESK
Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

Einsatzszenario

Ablauf:

- Messen und Speichern der störenden Sendesignale
- Bestimmung der Nebensprechstörung
- Berechnung der Nebensprechkopplungen aus den gemessenen Daten





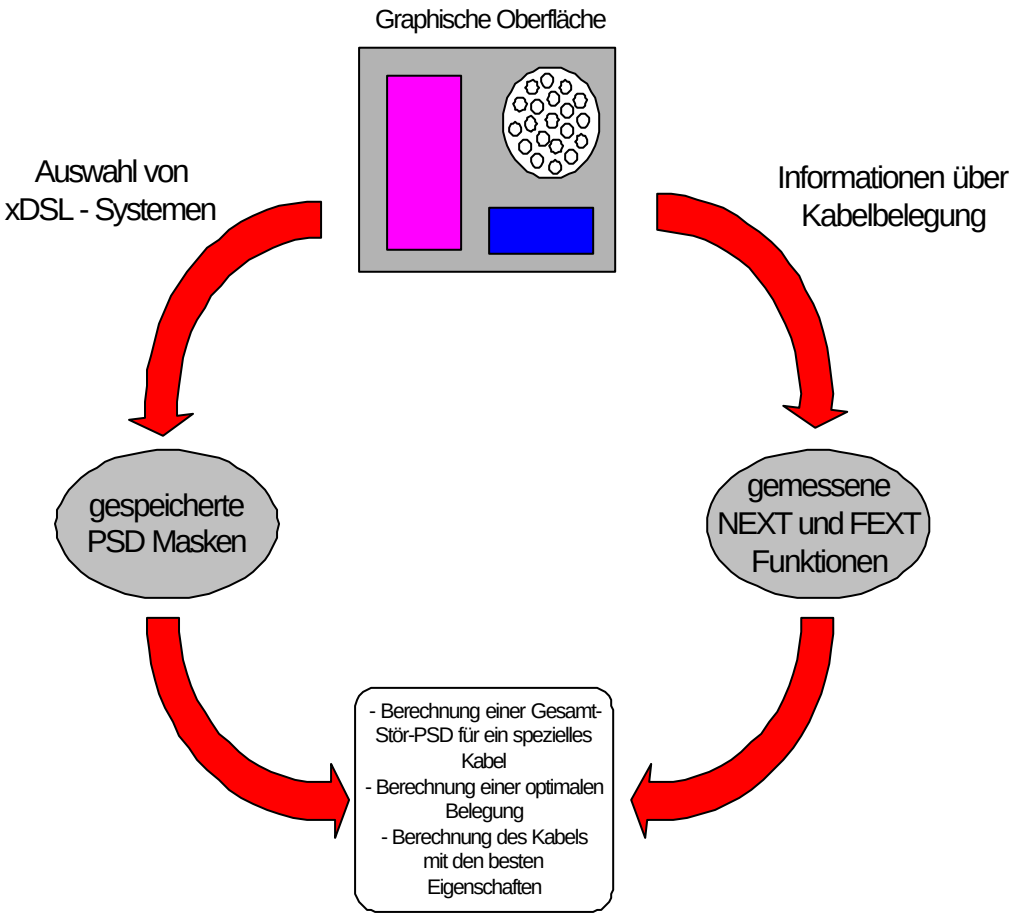
Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK
Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

Prequalifikation

Ablauf:

- Berechnung einer Stör-PSD eines Kabels bei fest vorgegebenen xDSL-Störern
- Berechnung des qualitativ besten Kabels bei fest vorgegebenen xDSL-Störern
- Berechnung der besten Aufteilung von gegebenen xDSL-Systemen auf das gesamte Kabel



Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK
Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

Neues Nebensprechmodell

Das neue Nebensprechmodell berücksichtig:

1. Individuelle Struktur der zu betrachtenden Telefonanschlussleitung
2. Jeweilige Beschaltung der Telefonanschlussleitung
3. Die tatsächlich im Kabelbündel vorhandenen störenden Systeme

Vorteile des neuen Nebensprechmodells:

- Automatische Erfassung der Nebensprechstörungen ohne Personaleinsatz
- Der Betrieb der Sendeanlagen wird durch die Messungen nicht unterbrochen
- Minimaler Rechenaufwand bei der Bestimmung der Modellparameter

⇒ Realistische xDSL-Systemtests sind möglich!

⇒ Zuverlässige Prequalifikation ist möglich!

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

ESK
Fraunhofer Einrichtung Systeme der Kommunikationstechnik

Zusammenfassung

- Infolge des „entbündelten“ Teilnehmerzugangnetzes nutzen unterschiedliche Netzbetreiber parallel die bestehende Kabelinfrastruktur
- Die standardisierten Nebensprechmodelle sind nur bedingt für realistische Labortests von xDSL-Systemen und zur Netzplanung verwendbar
- Verstellung eines neuen Nebensprechmodells zur individuellen Simulation der auf Telefonanschlussleitungen auftretenden Nebensprechstörungen
- Software-Tool für die effektive Beschaltung von Telefon-anschlussleitungen bei komplexen Anschlussszenarien

Alfred Voglgsang
alfred.voglgsang@esk.fraunhofer.de
Messverfahren der EMV, 15.10.2003

Realistische xDSL-Systemtests und zuverlässige Prequalifikation von Telefonanschlussleitungen

ESK
Fraunhofer Einrichtung
Systeme der
Kommunikationstechnik