

## Windenergienutzung und Richtfunk

Nutzung moderner Richtfunk-Technologie für die Kommunikation zu Windparks

Zur Verträglichkeit von WEA mit bestehenden Richtfunkstrecken

Wesentliche Qualitätsparameter von Breitbandverbindungen



Boltenhagen, 20. – 21.03.2013



Dr. Rolf Thier  
LAN-COM-East GmbH - Geschäftsführer

1. Einleitung und Zielstellung: Warum Richtfunk für Offshore-Windparks?
2. Möglichkeiten und Grenzen der Richtfunk-Technologie
  - 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele
  - 2.2. Überblick, Blockschaltbilder
  - 2.3. Fernservice, Managementlösungen
  - 2.4. Netzgestaltung, -optimierung
  - 2.5. Verkehrslastplanung
  - 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien
3. Besonderheiten der Nutzung der Richtfunk-Technologie für die Kommunikation zu Offshore-Windparks
  - 3.1. Planung und Betrieb über großen Wasserflächen: Spiegelung, Mehrwegeausbreitung
  - 3.2. Richtfunktauglichkeit der Antennenstandorte:  
Statik, Dynamik/Einsatz hoher Modulationsraten
  - 3.3. Seewasserbeständigkeit der einzusetzenden Technik
  - 3.4. Erschwerte Service-/Wartungsbedingungen
  - 3.5. Beispiel: Richtfunkinstallation an einer VEA Enercon E40 in ca. 30 m Höhe
4. Verträglichkeit von VEA mit bestehenden Richtfunkstrecken

# 1. Einleitung und Zielstellung

## Warum Richtfunk für Offshore-Windparks?

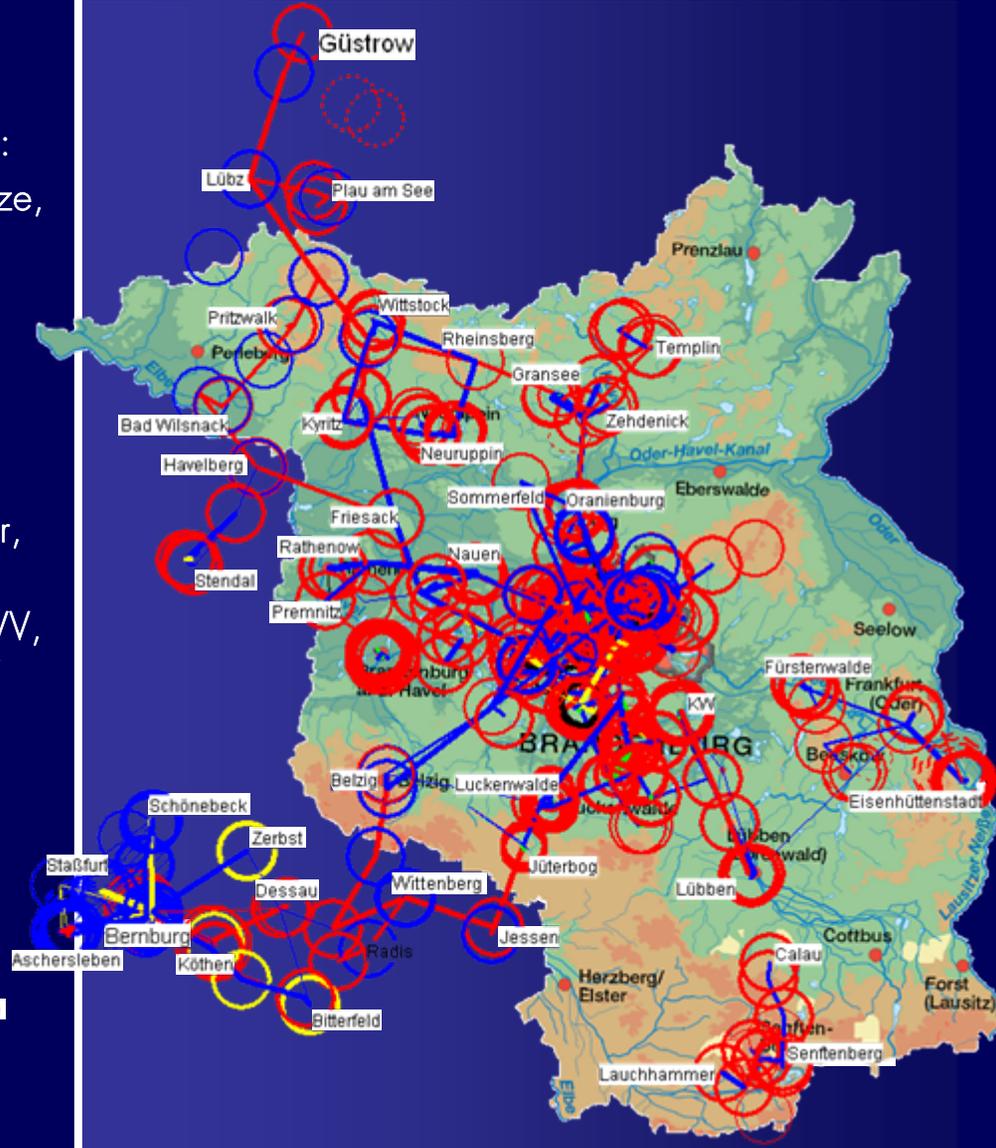
- Erschließung der Standorte vor der Anbindung über LWL-Kabel
- Hochzuverlässige, redundante Verbindung in Kombination mit Untersee-Kabeln:  
unterschiedliche Technologien über verschiedene, disjunkte Wege sowie in unterschiedlichen Höhen und Medien
- Sicherstellung der Kommunikationsverbindungen  
bei Havarien, z. Bsp. bei Kabelschäden nach Ankermanövern, Bauschäden oder extremen Witterungsbedingungen
- Überbrückung von Reparaturzeiten

## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Verbindungen und Netze am Beispiel Berlin/ Brandenburg

### Richtfunknetze in Berlin/ Brandenburg

Versorgungsgrad in der Region Berlin-Brandenburg  
(insgesamt bisher ca. 600 Richtfunkstrecken installiert):

- 14 Landkreisnetze (als Regionale Verwaltungsnetze, inkl. Zugangsstrecken zum LVN und zum Internet)
- 3 Stadtbezirksnetze in Berlin (als Regionale Verwaltungsnetze)
- 13 Krankenhausnetze
- Unternehmensnetze (große Wohnungsgesellschaften, Unternehmensgruppe Gegenbauer, Biotronik, MEAB, Landesforstverwaltung, Bosch Siemens Hausgerätewerk, Francotyp Postalia, GW, BSS, Zalando und weitere „Netzverlängerungen“ für große Provider...)
- 1 Hauptknoten in Berlin-Mitte
- 22 ständige Relais-/ Verteilstellen in Berlin
- ca. 100 ständige Relais-/ Verteilstellen in Brandenburg
- breitbandige Zugangsstrecken zum Internet für Gewerbe, Kommunen und lokale Provider



## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Verbindungen und Netze am Beispiel Relaisstandort IHZ

- erste Installationen: 1995
- Anzahl Antennen gesamt: ca. 60
- Summe aller Senderleistungen:  $< 2$  Watt  
(d. h. alle Antennen zusammen strahlen  
weniger Senderleistungen ab als ein  
einziges Handy !)



2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Verbindungen und Netze am Beispiel Relaisstandort IHZ

Ostseite/ nördliche Antennenhalterung



## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Verbindungen und Netze am Beispiel Relaisstandort IHZ

### Ostseite/ südliche Antennenhalterung im Schneetreiben:

Sachkundig geplante, von qualifizierten Spezialisten errichtete und professionell betriebene Richtfunkstrecken sind allwettertauglich und durchgängig verfügbar



## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Verbindungen und Netze am Beispiel Relaisstandort IHZ

Durchgang zwischen Ost- und Westseite:  
Cbl-Laser-Link ATM/STM-1/155 Mbit/s  
Richtung Rochstraße (Entfernung ca. 1 km)



## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Verbindungen und Netze am Beispiel Relaisstandort IHZ

### Westseite/ nördliche Antennenhalterung

u. a. Richtung Ferch:

- LCE-Link/2-Transcend
- Streckenlänge: 38 km
- Antennendurchmesser: 0,6 m
- Übertragungskapazität: 60 Mbit/s
- Senderleistung: 0,003 Watt  
(bei Starkregen: max. 0,1 Watt)
- Frequenzbereich: 15 GHz
- HF-Kanalbandbreite: 14 MHz
- Modulationsart: QAM 64  
(64 Zustände/6 Bit je Symbol bzw.  
Übertragungsschritt)
- Automatische  
Senderleistungssteuerung (ATPC)
- Adaptive Kodierung und  
Modulation (ACM)
- Witterungsbedingte Verfügbarkeit: >99,99%



## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Verbindungen und Netze am Beispiel Relaisstandort IHZ

### Oberste Dachfläche/ Richtung Süd

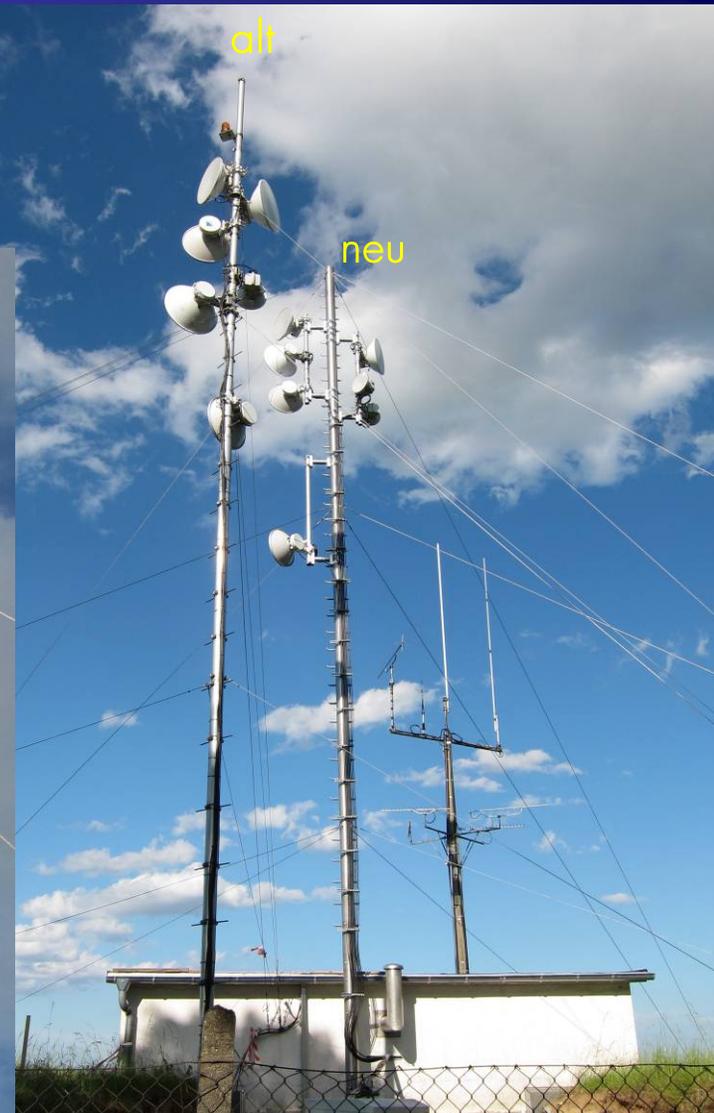
u. a. Richtung Blankenfelde:

- LCE-Link/2-Transcend
- Streckenlänge: 22 km
- Antennendurchmesser: 0,6 m
- Übertragungskapazität: 110 Mbit/s
- Senderleistung: 0,004 Watt  
(bei Starkregen: max. 0,1 Watt)
- Frequenzbereich: 18 GHz
- HF-Kanalbandbreite: 28 MHz
- Modulationsart: QAM 64  
(64 Zustände/ 6 Bit je Symbol  
bzw. Übertragungsschritt)
- Automatische  
Senderleistungssteuerung (ATPC)
- Adaptive Kodierung und  
Modulation (ACM)
- Witterungsbedingte Verfügbarkeit: >99,99%



## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Verbindungen und Netze am Beispiel SANA Kliniken Berlin/ Brandenburg

Ausbau Relaisstandort Timpberg im Frühjahr 2010:  
als abgespannter Rohrmast in besonders leichter  
Spezialkonstruktion, richtfunktauglich, geplant und errichtet  
in Eigenleistung



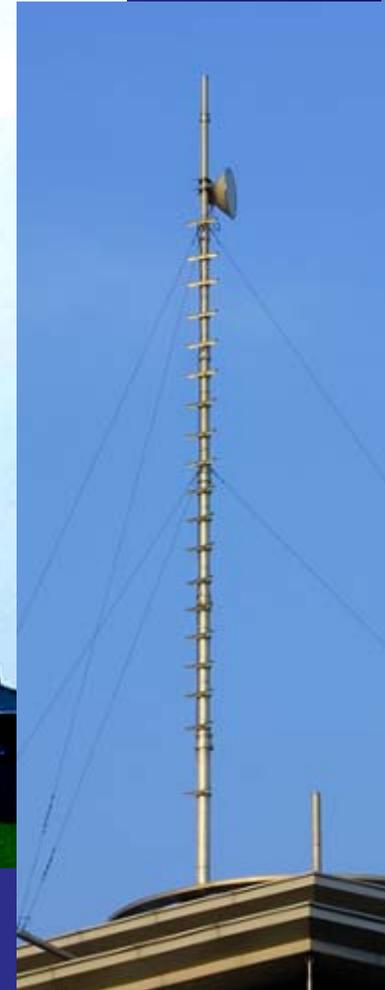
## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Montagevarianten

- Leichte Standmasten: als gebäudeschonende Aufstellkonstruktion, ohne Eingriffe in die vorhandene Dacheindeckung und -abdichtung, Arretierung durch Schwerkraft, rückstandsfrei rückbaubar
- Leichte Teleskopmasten
- Denkmalschutzgerechte Installation
- Richtfunk-Relaisstellen



## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Montagevarianten

- Leichte Standmasten
- Leichte Teleskopmasten: als abgespannte Sonderkonstruktionen in richtfunktauglicher Spezialausführung
- Denkmalschutzgerechte Installation
- Richtfunk-Relaisstellen



2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Montagevarianten



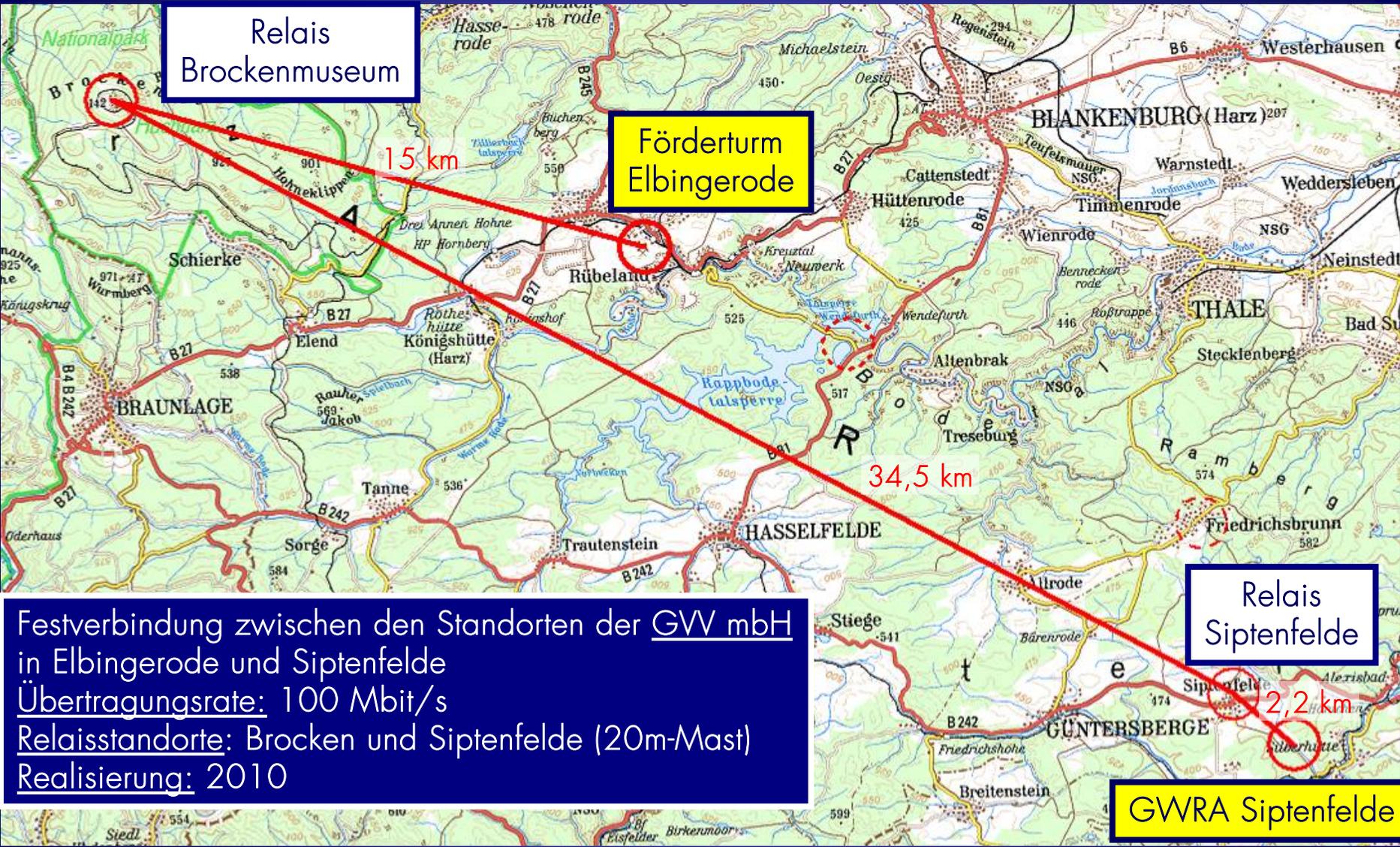
- Leichte Standmasten
- Leichte Teleskopmasten
- Denkmalschutzgerechte Installation
- Richtfunk-Relaisstellen

## 2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele Montagevarianten

- Leichte Standmasten
- Leichte Teleskopmasten
- Denkmalschutzgerechte Installation
- Richtfunk-Relaisstellen:  
zur Sicherstellung der freien optischen Sicht  
zwischen den kommunizierenden Antennen,  
auf geeigneten „herausragenden“  
Bauwerken oder leichten Tragkonstruktionen  
in richtfunktauglicher Spezialausführung unter  
Nutzung vorhandener Geländeerhebungen



2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Übersicht Richtfunknetz der GW



Relais  
Brockenmuseum

Förderturm  
Elbingerode

Relais  
Siptenfelde

Festverbindung zwischen den Standorten der GW mbH  
in Elbingerode und Siptenfelde  
Übertragungsrate: 100 Mbit/s  
Relaisstandorte: Brocken und Siptenfelde (20m-Mast)  
Realisierung: 2010

GWRA Siptenfelde

2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Übersicht Richtfunknetz der GW

Förderturm  
Elbingerode

Relais  
Brockenmuseum

Relais  
Siptenfelde

GWRA  
Siptenfelde



2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Übersicht Richtfunknetz der GW

Förderturm  
Elbingerode

Relais  
Brockenmuseum

Relais  
Siptenfelde

GWRA  
Siptenfelde



2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Übersicht Richtfunknetz der GW

Förderturm  
Elbingerode

Relais  
Brockenmuseum

Relais  
Siptenfelde

GWRA  
Siptenfelde



Vorbereitung der wetter- und sichtgeschützten Innenmontage im Radom:

- Messung der frequenzabhängigen Dämpfung der Radom-Kuppel und
- möglicher Störeinflüsse der benachbarten Großsender (ca. 430.000 Watt für UKW-Rundfunk und 150.000 Watt für DVB-T!)

2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Übersicht Richtfunknetz der GWV

Förderturm  
Elbingerode

Relais  
Brockenmuseum

Relais  
Siptenfelde

GWRA  
Siptenfelde



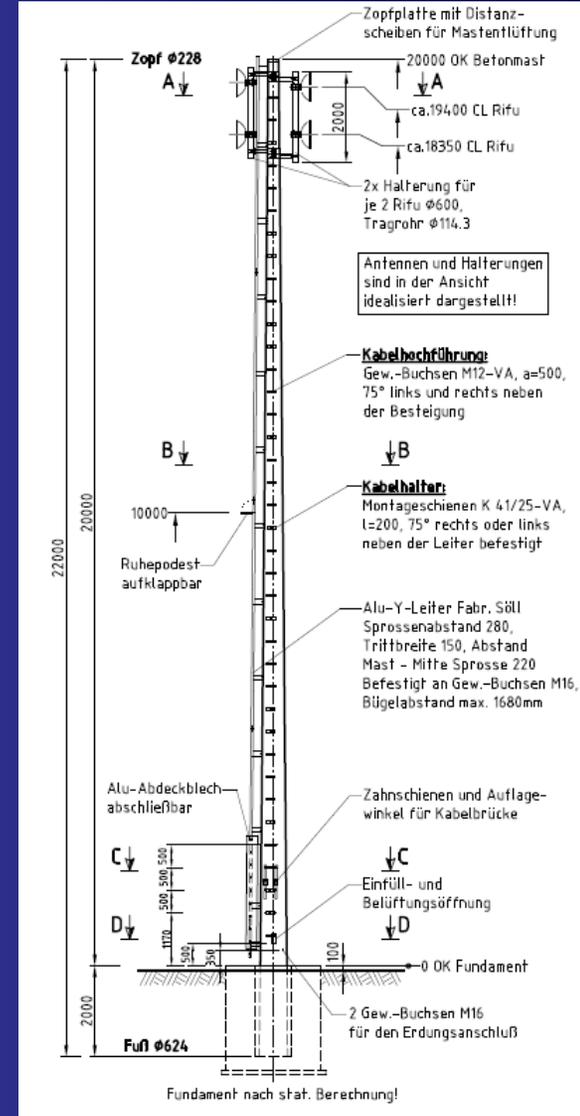
2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Übersicht Richtfunknetz der GW

Förderturm  
Elbingerode

Relais  
Brockenmuseum

Relais  
Siptenfelde

GWRA  
Siptenfelde



2.1. Vorhandene Erfahrungen und Beispiele  
Übersicht Richtfunknetz der GW

Förderturm  
Elbingerode

Relais  
Brockenmuseum

Relais  
Siptenfelde

GWRA  
Siptenfelde



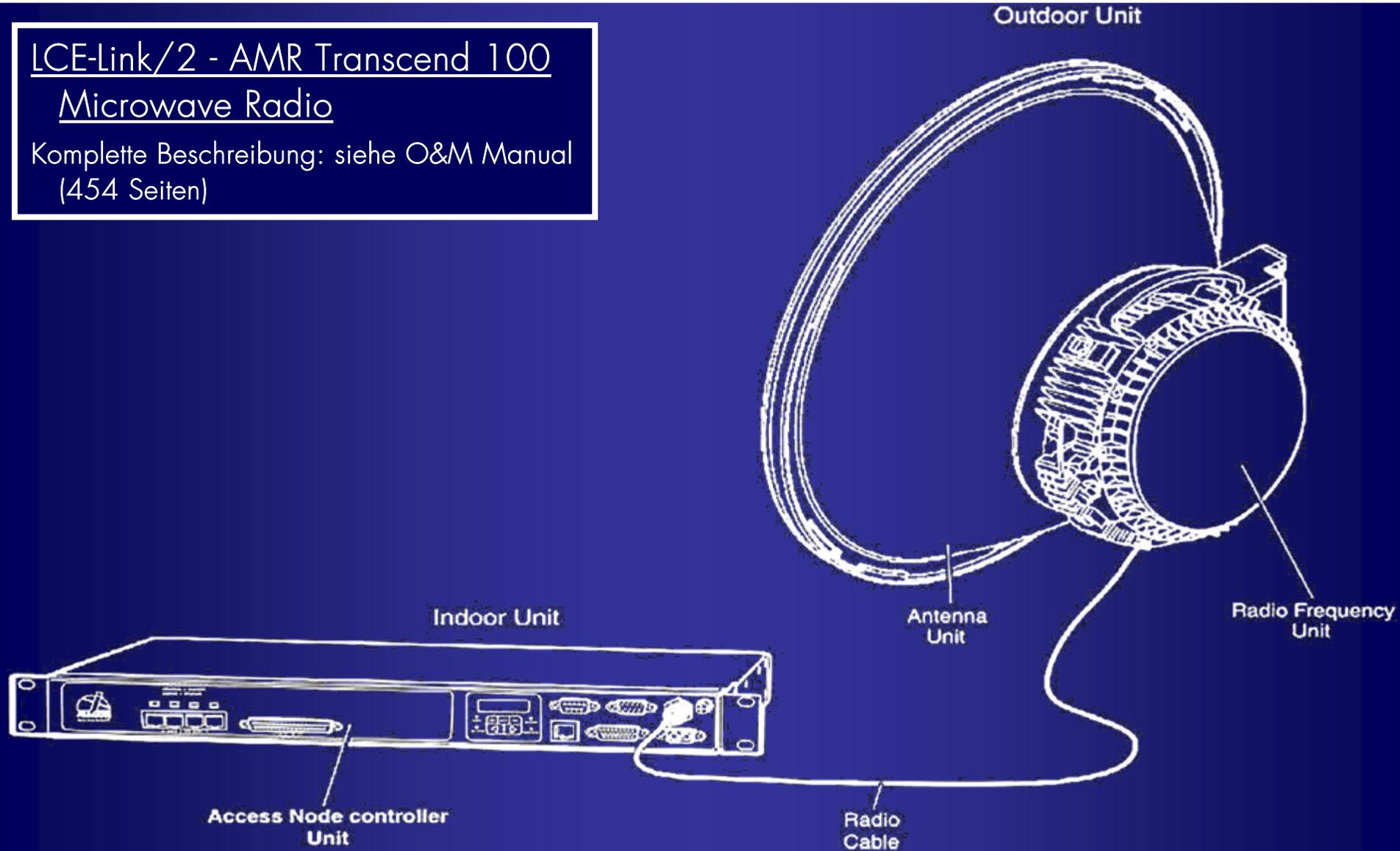
2.2. Überblick, Blockschaltbilder

Grundeinweisung: Blockschaltbilder, Funktionsübersicht

LCE-Link/2 - AMR Transcend 100

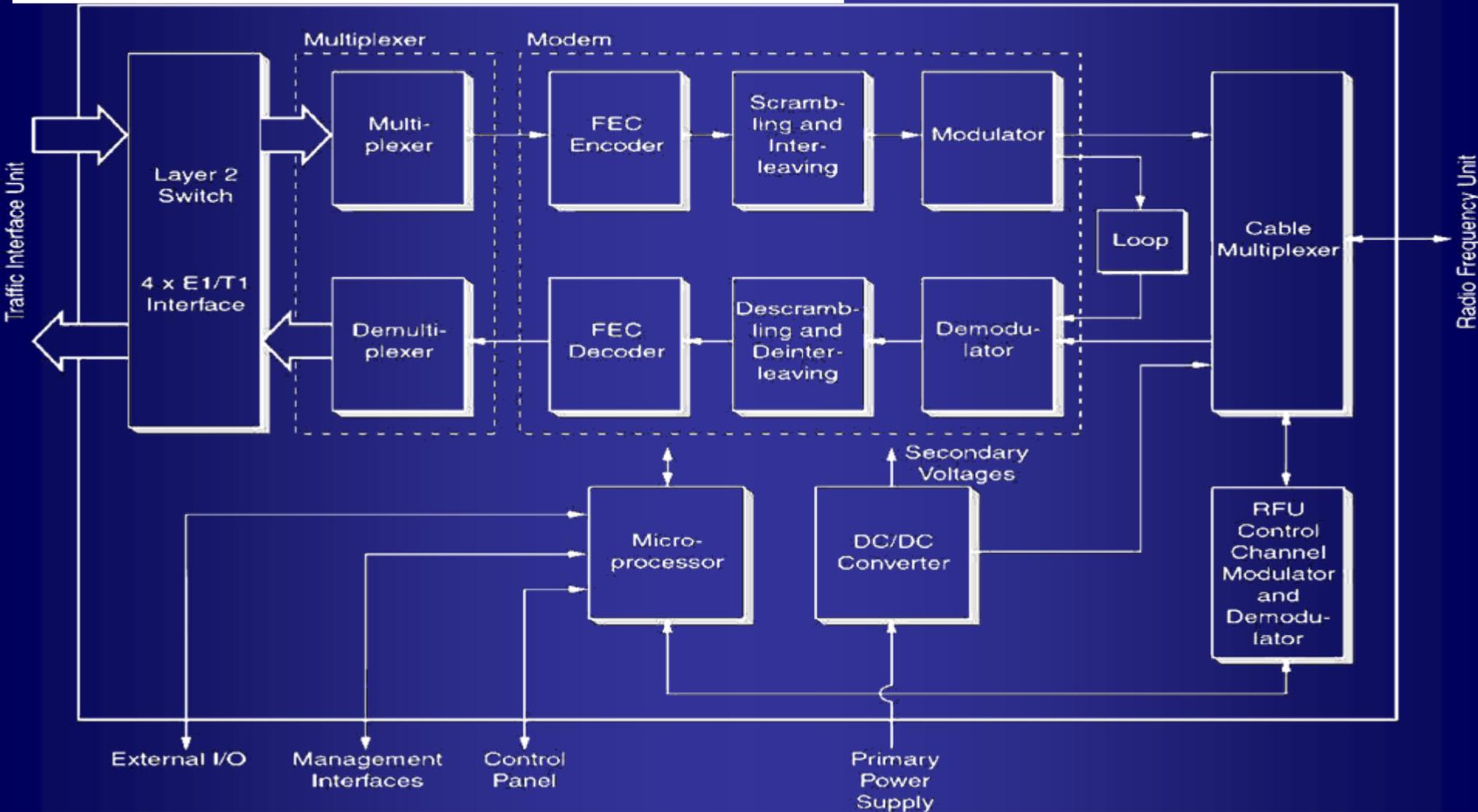
Microwave Radio

Komplette Beschreibung: siehe O&M Manual  
(454 Seiten)



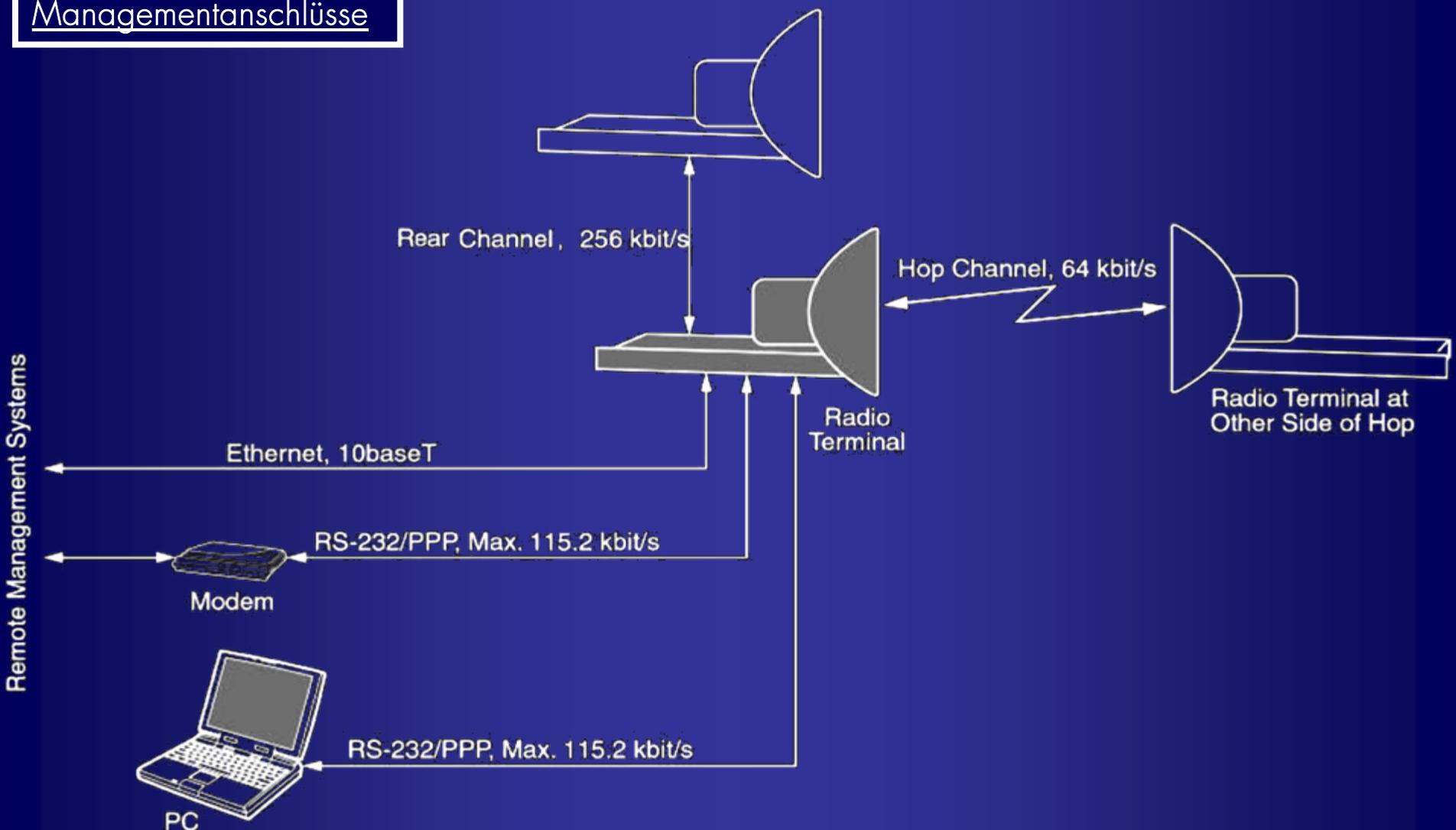
2.2. Überblick, Blockschaltbilder  
Grundeinweisung: Blockschaltbilder, Funktionsübersicht

Inneneinheit: Access Node Controller - Blockschaltbild



2.3. Fernservice, Managementlösungen  
Basiswissen für Servicefälle: Managementsysteme

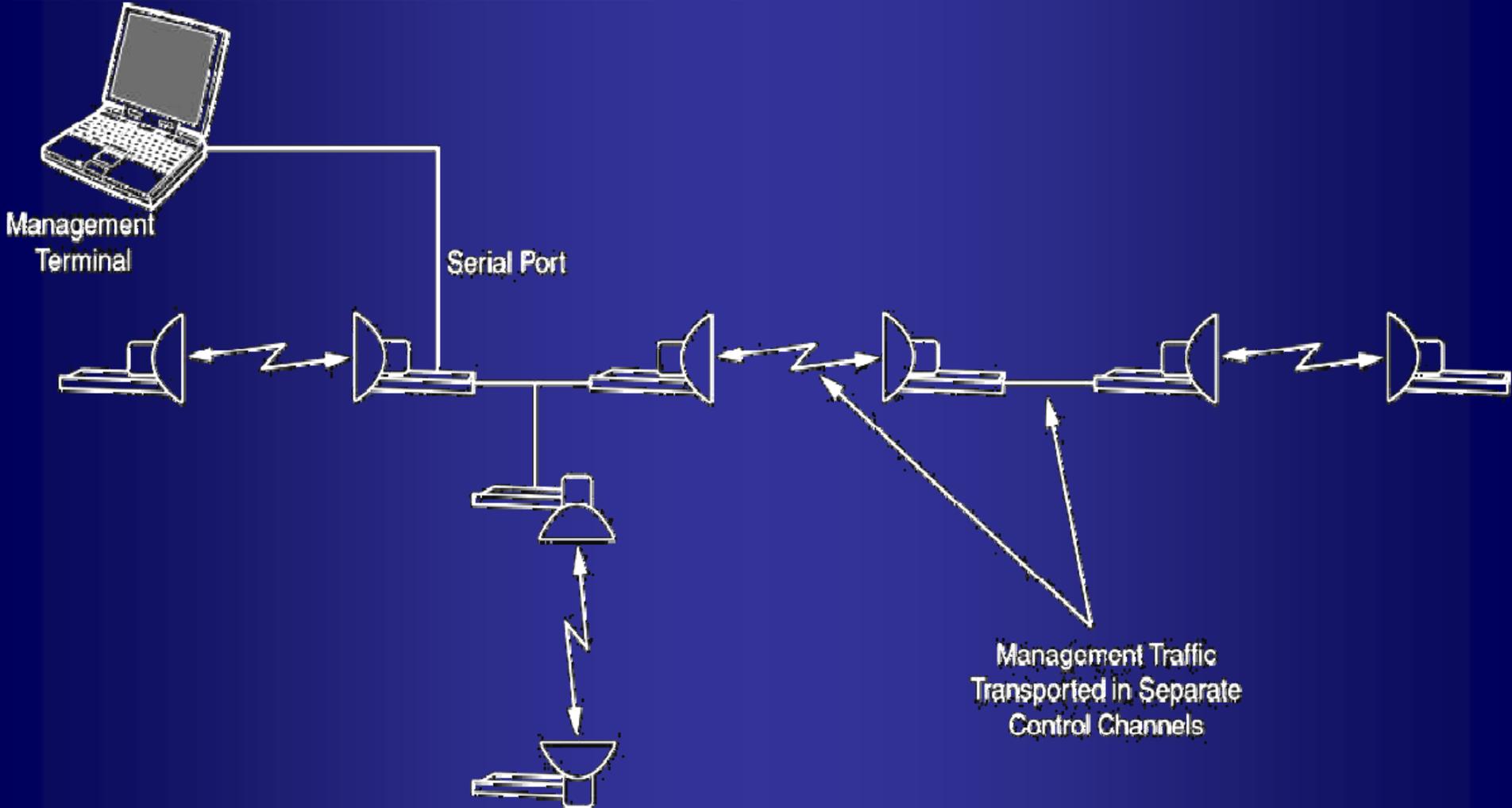
Managementanschlüsse



## 2.3. Fernservice, Managementlösungen

### Basiswissen für Servicefälle: Managementsysteme

#### Management Traffic über lokale Verbindungen



2.3. Fernservice, Managementlösungen  
Basiswissen für Servicefälle: Managementsysteme

RF Performance Protokoll anzeigen (Status ⇨ RF Performance Log)

Intvl	Interval start time	Min RSL dBm	Max RSL dBm	Avg RSL dBm	ES	SES	BBER	UAS	EFS	Min Power dBm	Max Power dBm	Min RIC Mb/s	Max RIC Mb/s	Min SNR dB	Max SNR dB
1	-0:15:00	-47	-47	-47	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.3	29.2
2	-0:30:00	-47.7	-47	-47	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.4	29.3
3	-0:45:00	-47.7	-47	-47.3	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.4	29.3
4	-1:00:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
5	-1:15:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.4	29.4
6	-1:30:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
7	-1:45:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
8	-2:00:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.6	29.4
9	-2:15:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
10	-2:30:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
11	-2:45:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.6	29.5
12	-3:00:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
13	-3:15:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
14	-3:30:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.3
15	-3:45:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
16	-4:00:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.5
17	-4:15:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.5
18	-4:30:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.3
19	-4:45:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.5	29.4
20	-5:00:00	-47.5	-47.5	-47.5	0	0	0	0	900	-60	-60	131.75	131.75	28.6	29.4

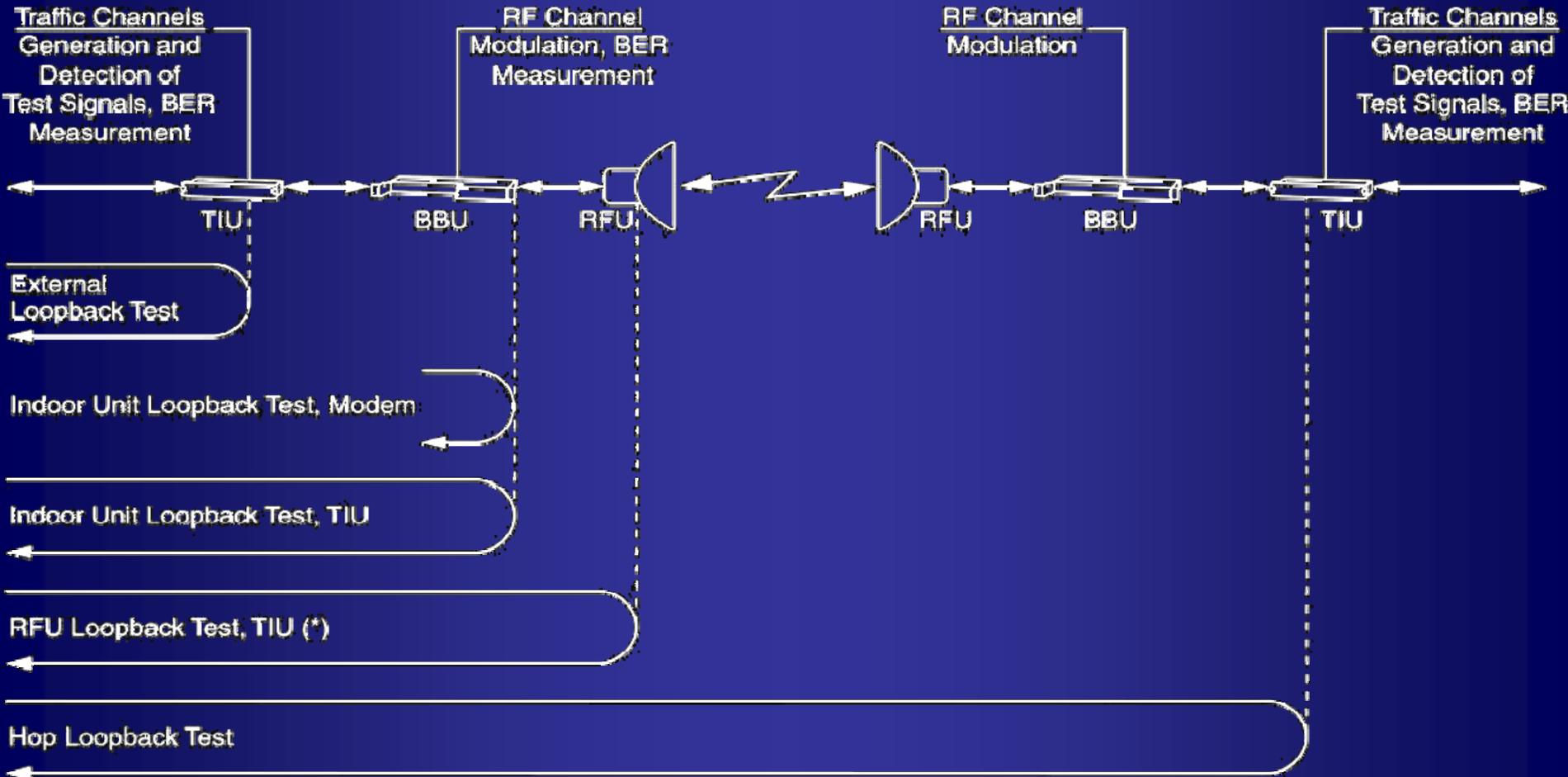


2.3. Fernservice, Managementlösungen  
Basiswissen für Servicefälle: Managementsysteme[Ethernet Statistik anzeigen \(Status ⇨ Ethernet Statistics\)](#)

Port No	1	2	3	4	Internal
Dropped packets	0	0	0	0	1
Octets received <sup>1)</sup>	0	0	0	0	202674
Packets received <sup>1)</sup>	0	0	0	0	2278
Broadcast packets received	0	0	0	0	0
Multicast packets received	0	0	0	0	1
CRC align errors	0	0	0	0	573
Undersize packets	0	0	0	0	0
Oversize packets	0	0	0	0	0
Fragments	0	0	0	0	1691
Jabbers	0	0	0	0	13
Collisions	0	0	0	0	0
Packets 64 Octets <sup>2)</sup>	0	0	0	0	1
Packets 65-127 Octets <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0
Packets 128-255 Octets <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0
Packets 256-511 Octets <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0
Packets 512-1023 Octets <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0
Packets 1024-Max Packet Size Octets <sup>2)</sup>	0	0	0	0	0

2.3. Fernservice, Managementlösungen  
Basiswissen für Servicefälle: Managementsysteme

Integrierte Testmöglichkeiten: Schleifentest, ferngesteuerte Einspeisung und Verfolgung von Testsignalen



(\*) RFU Loopback is not available on aNC WACG00103 and above.

## 2.4. Netzgestaltung, -optimierung Struktur des Sprach-/ Datennetzes

Beispiel eines datenschutzgerechten, sicheren Richtfunk-Netzwerkes – konfiguriert als „Private Cloud“:  
echtes privates (unternehmens- oder verwaltungsinternes) Netzwerk  
– nicht nur „scheinbar privates Netzwerk“ (Virtual Private Network - VPN)

Details: siehe projektbezogene Spezialschulungen



2.4. Netzgestaltung, -optimierung  
Datenschutz

- VPN  $\Rightarrow$  echtes PN/ CN über eigene, exklusiv verfügbare Übertragungswege (nicht nur „scheinbar privates Netz“ – VPN)
- Systeminterne Eigenschaften hochwertiger Richtfunkstrecken
- Strenge, hardwarebasierte Trennung des Traffic-Kanals (Payload) vom Management-Prozessor sowie den Management-Kanälen und –Netzen,
- Höchste Netzqualität mit jederzeit garantierten Parametern: Verbindung der LAN und Subnetze über fest zugeteilte WAN-Kanäle in Festverbindungsqualität
- Keine „bis zu...“-Parameter mit nach unten offenem Toleranzbereich: bei Breitband-Anschlüssen (wie z. B. ADSL 16000...) gehört die Datenrate 0 zur vertragsgemäßen „bis zu“-Leistung, sofern der Provider nicht zusätzliche Parameter garantiert
- Telefonverbindungen über zusätzliche Synchronkanäle (E1, S<sub>2M</sub>...) oder als VoIP-Verbindungen über sicher abgetrennte Datenkanäle: absolute Priorisierung, von den anderen Datenverbindungen und deren Auslastung völlig unabhängig, ohne Paketverluste, kein Jitter
- Ohne gemeinsam genutzte, programmierbare (und damit „hackbare“) Komponenten
- Ohne gegenseitige Beeinflussung (auch im Überlastbetrieb)
- Getrennte Ports für Anwenderdaten und Management
- Geeignete Projektplanung

## 2.4. Netzgestaltung, -optimierung Auswirkungen der Latenzzeit

Siehe Fachartikel:

Zur Auswirkung der Latenzzeit (Paketlaufzeit)  
auf die nutzbare Datenübertragungsrate in LAN-WAN-Kopplungen

2.5. Verkehrslastplanung  
für leistungsfähige Unternehmens- und Verwaltungsnetze

Analogie: „Datenautobahn“ – reale Verkehrsprozesse

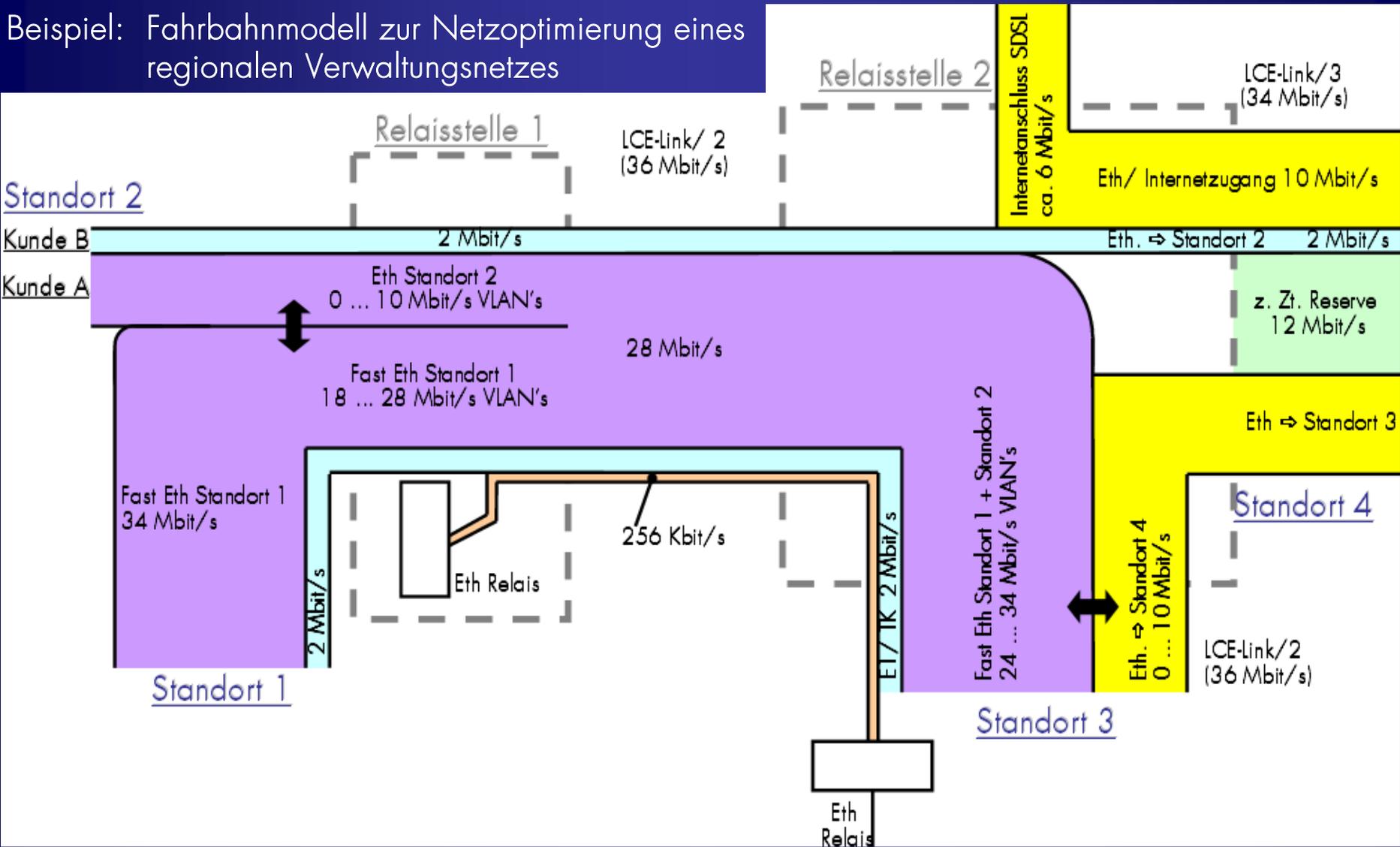
„Fahrbahnmodell“:

Bandbreite	Breite der Fahrbahnen
Quellen/ Senken	Auffahrten/ Abfahrten
Baumstruktur	Abzweige/ Kreuzungen
Kapazitätsengpässe, „Flaschenhälse“	Einengungen, Baustellen

Beispiel: Fahrbahnmodell zur Netzoptimierung eines regionalen Verwaltungsnetzes

# 2.5. Verkehrslastplanung für leistungsfähige Unternehmens- und Verwaltungsnetze

Beispiel: Fahrbahnmodell zur Netzoptimierung eines regionalen Verwaltungsnetzes



## 2.5. Verkehrslastplanung für leistungsfähige Unternehmens- und Verwaltungsnetze

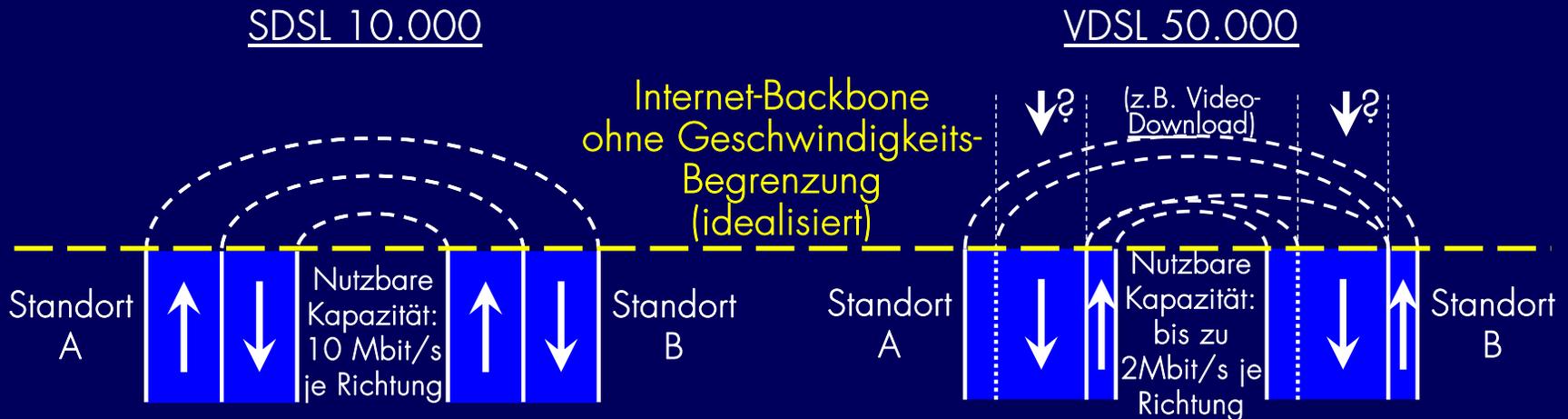
Beispiel für die anschauliche Darstellung mit dem Fahrbahnmodell

**Aufgabenstellung:** Kunde benötigt für die Vernetzung seiner beiden Standorte eine symmetrische Datenverbindung mit 10 Mbit/s (z.B. SDSL 10.000)

**Angebot des Providers:** beide Standorte sollen VDSL-Anschlüsse erhalten, denn „50.000 kbit/s sind mehr als 10.000 kbit/s“

**VDSL:** asymmetrischer Anschluss, Download: „bis zu 50.000 kbit/s“  
Upload: „bis zu 2.000 kbit/s“

**Auswirkung:**



## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien

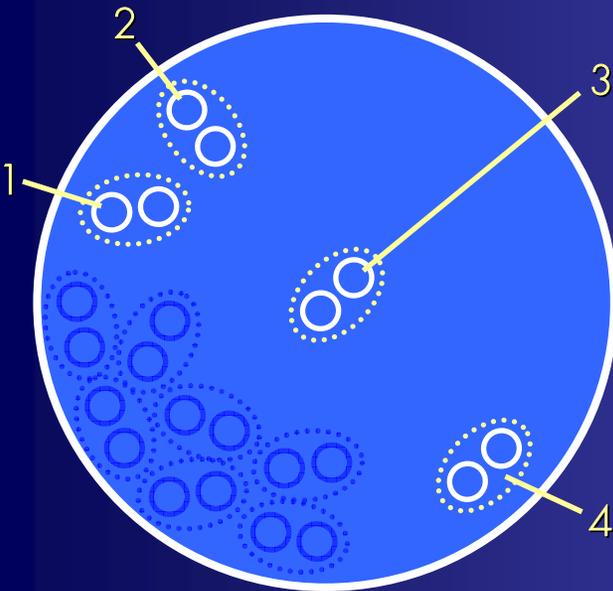
### Qualitätsparameter für Breitbandanschlüsse

- Bandbreite/ Übertragungskapazität: s.o.
- symmetrisch/ unsymmetrisch: gleiche/ unterschiedliche Kapazität für Download/ Upload
- Überbuchung/ zulässige Gleichzeitigkeit  
Preisvorteil entsteht durch Mehrfachverkauf derselben Infrastrukturleistung; problemlos, wenn geringe Gleichzeitigkeit der Inanspruchnahme
- Echtzeittauglichkeit/ Latenzzeit
- Wegeleitung der Datenpakete  
(Routing, Peering, Austauschknotten, Vermittlungsstellen...)
- Verfügbarkeit des Anschlusses  
garantierte Leistung oder unverbindlicher Zielwert?
  - 98,0 % 175,2 Stunden Ausfall pro Jahr als vertragskonforme Leistung
  - 99,0 % 87,6 Stunden Ausfall pro Jahr als vertragskonforme Leistung
  - 99,5 % 43,8 Stunden Ausfall pro Jahr als vertragskonforme Leistungfür hochzuverlässige Anwendungen: Überbrückung der Ausfallzeiten durch Backup-Leitungen/-wege

## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien

### Prinzipbedingte Grenzen der DSL-Versorgung über Kupfer-Telefon-Kabel

Übersprechen im hochpaarigen Telefonkabel bei Beschaltung mit hochfrequenten Signalen (z.B. DSL)



Benachbarte Doppeladern (1, 2): Starke wechselseitige Störung, dürfen nicht gleichzeitig mit DSL beschaltet werden

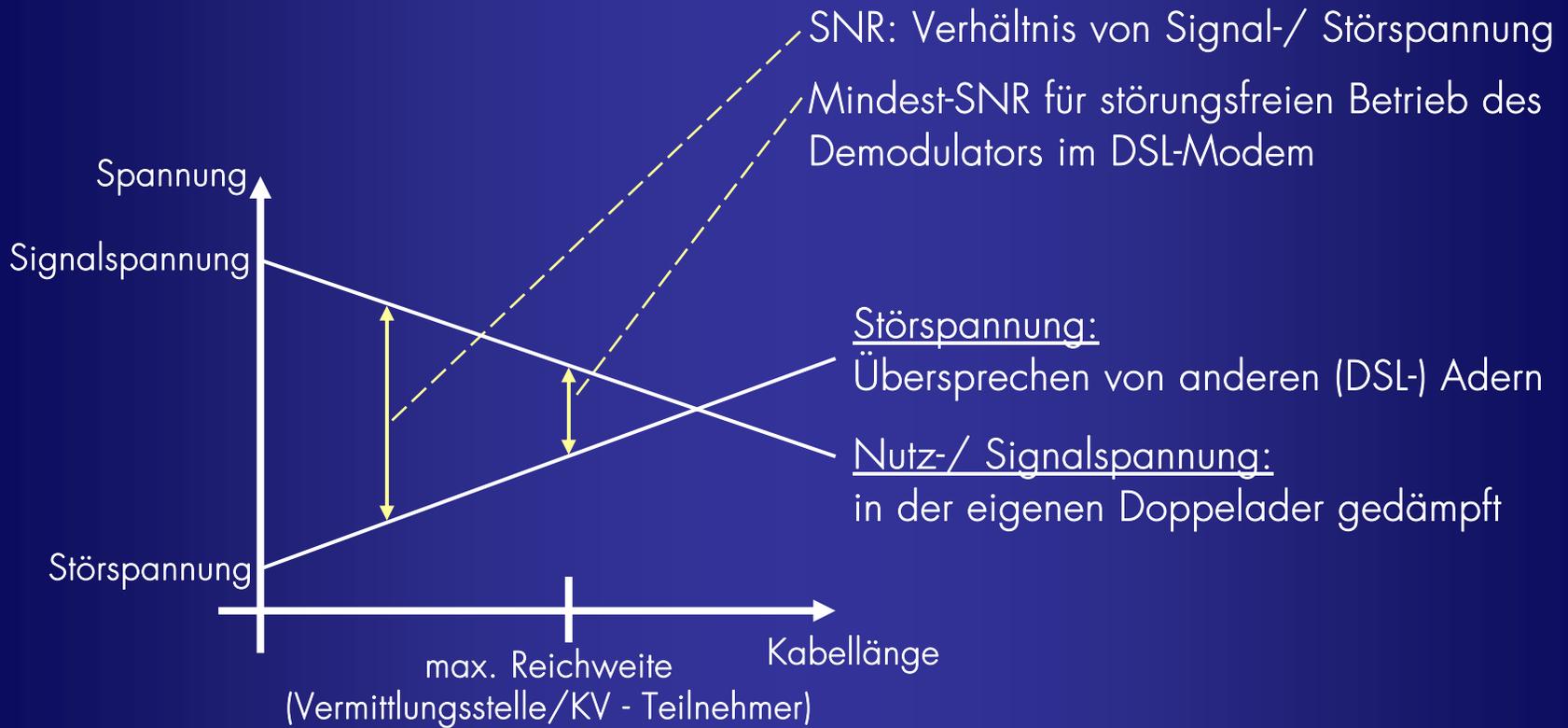
1 und 3: können nach Erkundungsmessung (Momentaufnahme!) DSL-tauglich sein

4: als DSL-tauglich gemessen, aber nach Beschaltung kann Störung für 3 zu hoch sein

Nach jeder Neubeschaltung einer Doppelader müssten alle bisherigen Erkundungsmessungen wiederholt werden!

2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Prinzipbedingte Grenzen der DSL-Versorgung über Kupfer-Telefon-Kabel

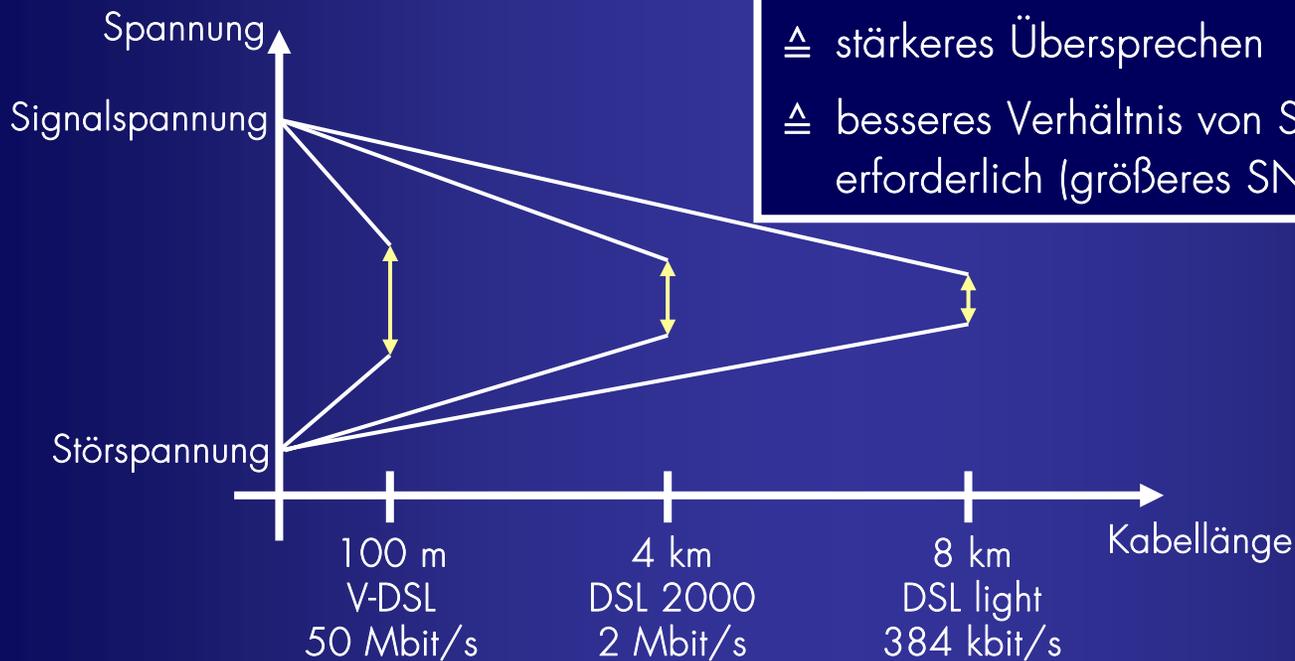
Breitband über Kupfer-Telefonkabel („DSL“)  
Grundprinzip und Leistungsgrenzen (physikalisch bedingt, unabhängig vom Provider)



## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien

### Prinzipbedingte Grenzen der DSL-Versorgung über Kupfer-Telefon-Kabel

#### Einfluss der Übertragungsgeschwindigkeit auf die Reichweite



Höhere Übertragungsgeschwindigkeit

≙ höhere Grundfrequenz/ kompliziertere Modulation

≙ stärkere Dämpfung

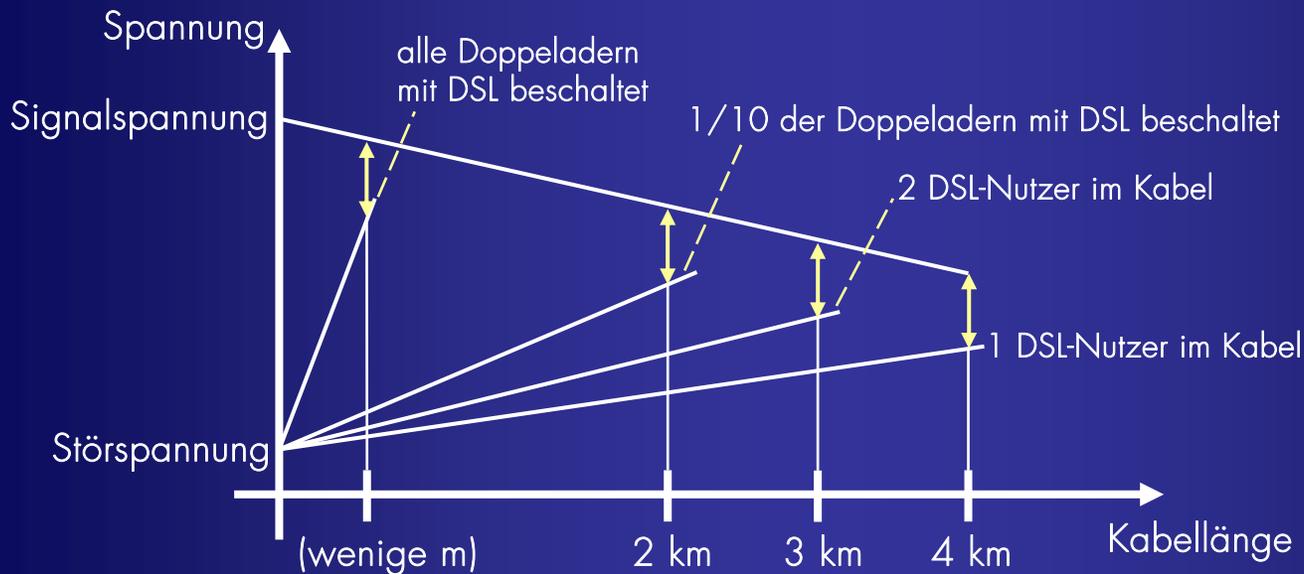
≙ stärkeres Übersprechen

≙ besseres Verhältnis von Signal- zur Störspannung erforderlich (größeres SNR)

## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien

### Prinzipbedingte Grenzen der DSL-Versorgung über Kupfer-Telefon-Kabel

#### Einfluss der Anzahl aktiver DSL-Nutzer im gleichen Telefonkabel



## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien Prinzipbedingte Grenzen der DSL-Versorgung über Kupfer-Telefon-Kabel

### Weitere Einflussfaktoren auf Verfügbarkeit und Leistungsparameter von Breitband im Kupfer-Telefonkabel

- **Sendepiegel:**  
hoher Wert steigert die eigene Reichweite, stört aber alle anderen Anschlüsse im gleichen Kabel stärker
- **Modulationsverfahren:**  
„Robustheit“ gegen Störspannung bzw. schlechte SNR
- **Wirksamkeit von Fehlerkorrekturverfahren:**  
schlechte SNR-Werte werden toleriert, Korrektur kostet aber zusätzliche Bandbreite und/ oder kann Störungen vergrößern (und die Latenzzeit für den eigenen Kanal vergrößern)
- **Kompatibilität der eingesetzten DSL-Modems:**  
unterschiedliche Frequenzbereiche je nach Verfahren und Hersteller/ Typ bzw. Provider, kann ggf. zeitweilige Verbesserung bringen oder auch Störungen drastisch erhöhen
- **Elektronische Kompensation des Übersprechens („Vectoring“):** hohe Anforderungen an Konstanz der Kabelparameter sowie abgestimmte, „disziplinierte“ und rücksichtsvolle Arbeit der Wettbewerber
- **Verhalten verschiedener Provider auf dem gleichen Kabel:** technische Abstimmung oder purer Wettbewerb ?
- **Nutzungsprofil der Kunden:** tägliche Nutzungsdauer, Gleichzeitigkeit/tageszeitlicher Verlauf, Datenvolumen (Download/Upload), Art der Internetnutzung (!)

## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien Prinzipbedingte Grenzen der DSL-Versorgung über Kupfer-Telefon-Kabel

### Konsequenzen/ beispielhaft:

- auch in „DSL-versorgten“ Gebieten existieren Versorgungsgrenzen
- DSL-Störungen wachsen mit dem Umfang der Nutzung
- Qualität einer DSL-Versorgung sinkt tendenziell mit wachsender Nutzung
- Extremfall: bei Vollversorgung im Sinne von Beschaltung aller Doppeladern im Kabel mit DSL kann keiner DSL nutzen (!)
- vor jeder DSL-Beschaltung ist – da außerhalb garantierter Daten des Kabels gearbeitet wird – eine individuelle Erkundungsmessung zur Bestimmung der Realisierbarkeit erforderlich:
  - gilt nur als Momentaufnahme (!)
  - müsste mit jeder weiteren Beschaltung wiederholt bzw. korrigiert werden
  - abhängig von technischer Konfiguration und tatsächlicher Nutzung (keine Qualitätsgarantie möglich !)
- gegenseitige Beeinflussung der Leitungen, je nach Provider und Nutzer (!)

## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien Prinzipbedingte Grenzen der DSL-Versorgung über Kupfer-Telefon-Kabel

### Konsequenzen/ beispielhaft:

- „aggressive“ bzw. „rücksichtslose“ Konfiguration:
  - DSL-Versorgung kann durchaus über die bei „konservativer“ Planung genannten Versorgungsgrenzen hinaus erfolgen  
z.B. durch:
    - höheren Sendepiegel oder
    - gezielte Nutzung von - für die eigene Technik des Providers vorteilhaften - Frequenzbereichen
  - führt aber häufig zu zusätzlichen Störungen bzw. Leistungsreduzierungen für andere DSL-Nutzer
- Breitband-Atlas:
  - kann –leider– prinzipbedingt keine verlässliche Aussage für den konkreten Kunden liefern
  - sagt nur, ob in dem betreffenden Gebiet „schon mal einer DSL geschaltet hat“
- selbst in gut versorgten Bereichen treten „weiße Flecken“ auf bzw. können neu entstehen: wenn z.B. bereits viele DSL-Nutzer auf dem Kabel geschaltet sind (!)
- Für kostengünstige Privatanschlüsse unverzichtbar – aber für gewerbliche Anschlüsse und Verwaltungen mit hohen und konstanten Qualitätsforderungen kaum geeignet

## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung der „Digitalen Dividende“

### Was bedeutet „Digitale Dividende“?

- Digitalisierung des Fernsehsignals und Einsatz von Kompressionsverfahren (MPEG) reduzieren die erforderliche Bandbreite zur Übertragung der Fernsehprogramme
  - mehrere (bis zu 8) Programme können gleichzeitig über einen Sender und in einem der bisher getrennt für jedes Programm genutzten Kanäle übertragen werden
  - für die terrestrische Fernsehverteilung werden nicht mehr alle VHF- und UHF-Kanäle und Sender benötigt

### Frei werdende Kanäle und Frequenzbereiche = „Digitale Dividende“

- International für Deutschland vereinbart: Teile des UHF-Bereiches (790 ... 862 MHz)
- Zuteilung über Auktion an T-Mobile, Vodafone und O<sub>2</sub> (je 2 gepaarte 5 MHz-Blöcke)
- Mögliche Datenraten je Funkzelle (Sendestation, Basisstation):

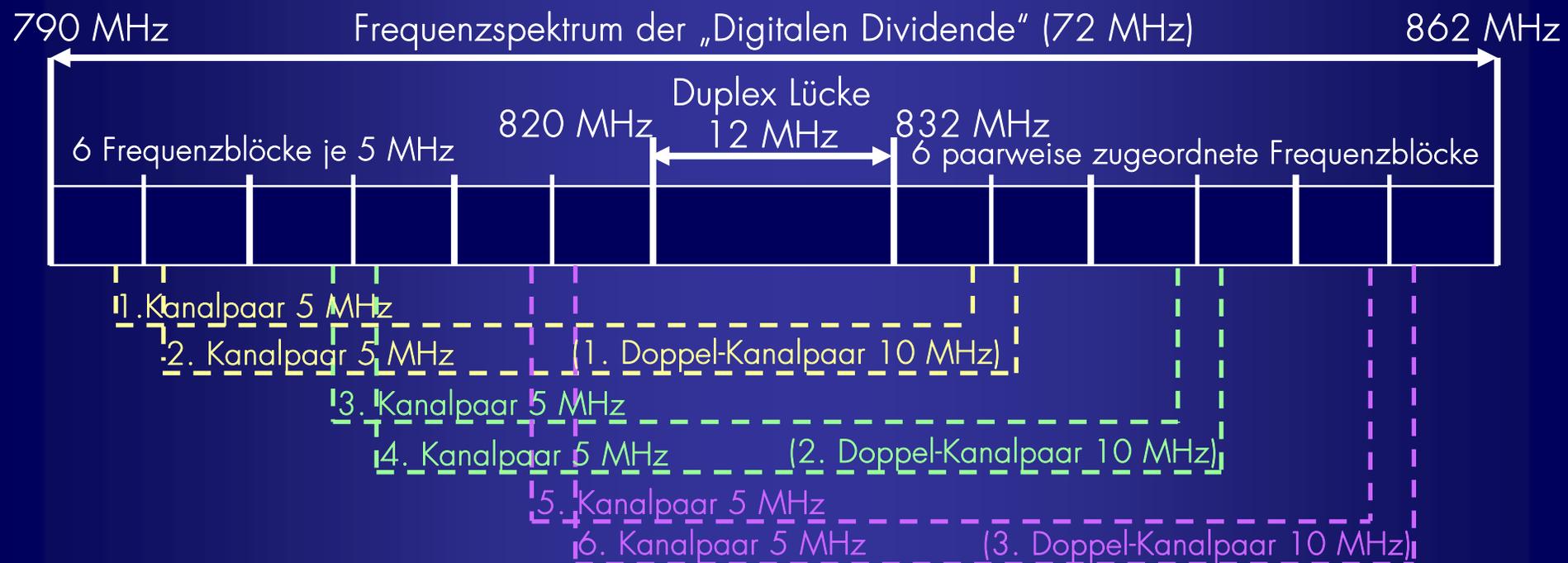
HF-Kanalbreite	Gesamt-Übertragungskapazität der Funkzelle	
	GSM, UMTS	LTE
20 MHz (nur bei 1,8; 2,6... GHz)		100 ... 150 Mbit/s
10 MHz (790...862 MHz)		50 ... 60 Mbit/s
5 MHz	7 (... 26) Mbit/s	

(abhängig vom Modulationsverfahren, Reichweite und „Robustheit“)

2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung der „Digitalen Dividende“

„Digitale Dividende“:

Frequenzbereich und Kanalaufteilung gemäß Vorgaben der BNetzA für die Versteigerung dieser Frequenzen (Duplex-Kanalpaare je 5 MHz) für „symmetrischen“ Betrieb



## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung der „Digitalen Dividende“

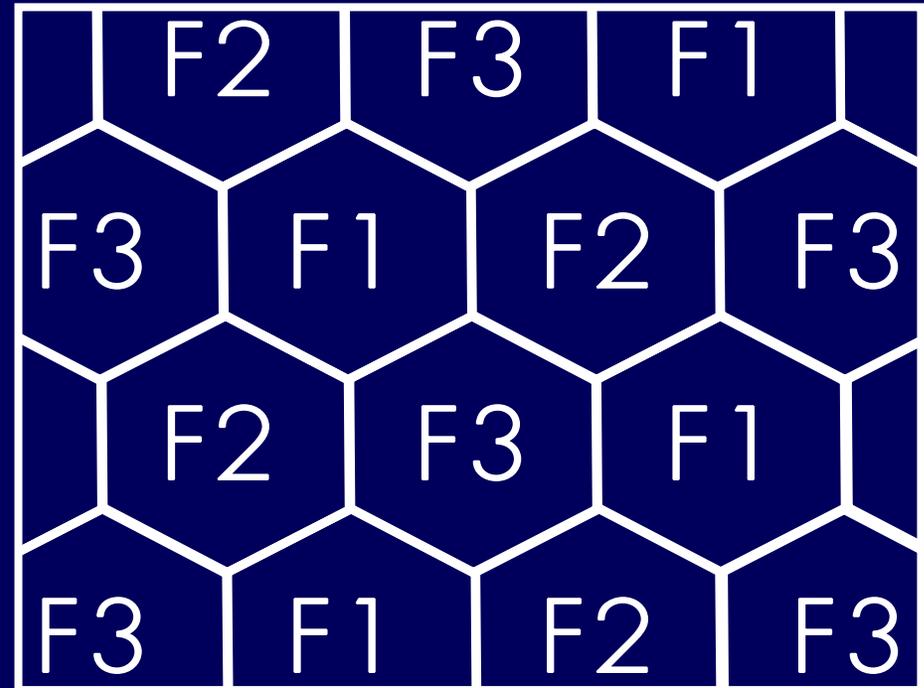
### Konsequenzen der Nutzung der „Digitalen Dividende“

- Frequenzbereich muss „geräumt“ werden:  
TV-Sender/ national und international (Brandenburger Sender strahlen auch nach z.B. Polen – und in Gegenrichtung), „Event-Technik“ (z. B. drahtlose Mikrofone)
- Verträglichkeit mit anderen Techniken:  
erhebliche Störungen auf Kabelfernsehtetzen festgestellt (z. B. Pilotversuch in Oberwiesenthal)
- weitere Erhöhung der Strahlenbelastung  
(vor allem bei „Innenbetrieb“ der Funkmodems und Antennen sowie bei Betrieb mit höheren Senderleistungen für größere Reichweiten)
- begrenzte Kapazitäten je Funkzelle  
(wegen begrenzter Kanalbandbreiten ist eine große Anzahl kleiner Zellen erforderlich, ähnlich wie bei Mobilfunk): Mikrozellen ⇒ Picozellen ⇒ Femtozellen
  1. bewusste Begrenzung der Funkreichweite, um den Nutzern einer Funkzelle ausreichend anteilige Kapazität zur Verfügung stellen zu können
  2. kleinzellige Netzstruktur, um die Frequenzen häufig wiederverwenden zu können (setzt mindestens 3-6 disjunkte Kanäle voraus, d.h. die zugeteilten bzw. ersteigerten Bänder müssten noch unterteilt werden)

## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung der „Digitalen Dividende“

### Erhöhung der Übertragungskapazität durch Mehrfachverwendung von Funkfrequenzen im Zellennetz

- benachbarte Funkzellen arbeiten auf unterschiedlichen Frequenzen
- gleiche Frequenz darf in der übernächsten Funkzelle wiederverwendet werden
- für flächendeckende Versorgung sind mindestens drei Frequenzen (F1 ... F3) erforderlich
- Größe der Funkzellen so, dass darin maximal 10 ... 200 Nutzer aktiv sind  
(je nach zugesagter Qualität des Anschlusses)



(stark vereinfacht bzw. idealisiert – reale Ausbreitungsbedingungen !)

## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung der „Digitalen Dividende“

Übersichtsrechnung zum Datenvolumen, das bei einer echten Triple Play-Nutzung entsteht:  
(in jedem Haushalt bzw. – genauer – durch jedes über IP-TV betriebene Fernseh- oder Multimedia-Gerät, nicht nur durch Tauschbörsenbetreiber oder andere (halb-) kommerzielle Nutzer mit großem Datenaufkommen):

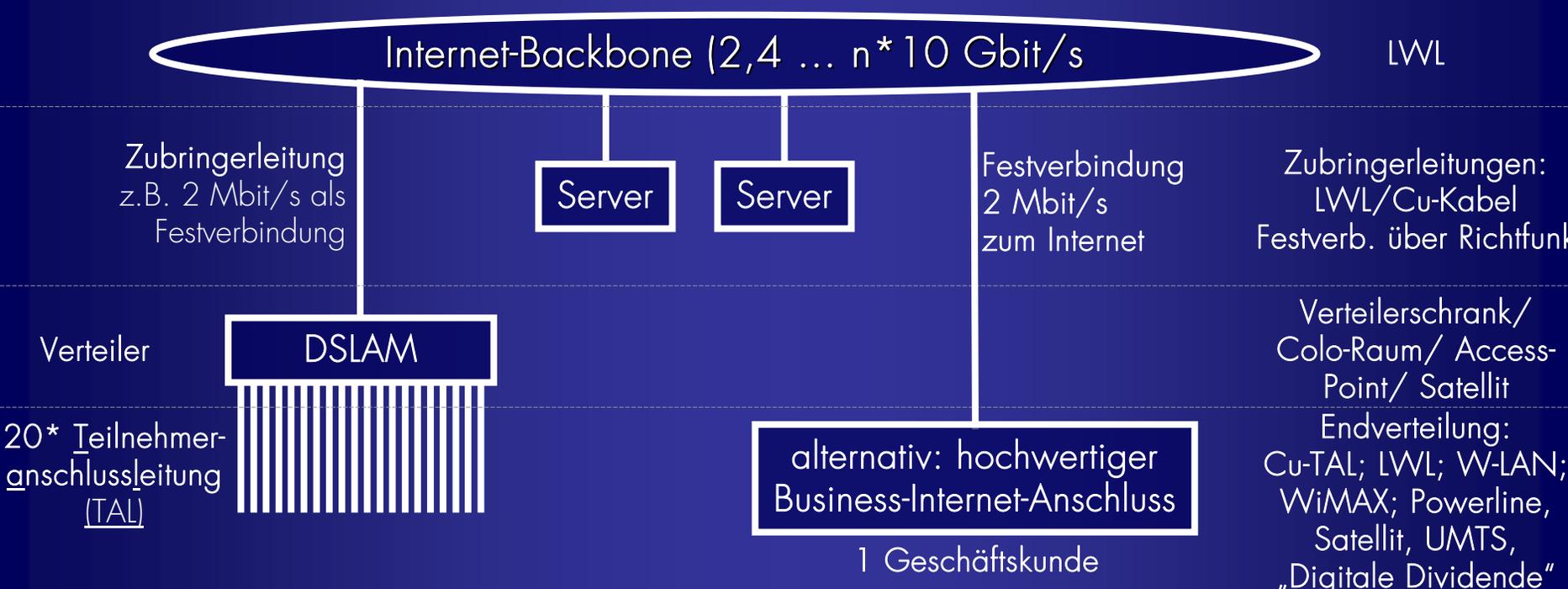
### IP-TV (Fernsehen über Internet)

- Standard-Auflösung (erfordert eine ständig verfügbare Downloadkapazität von ca. 2 Mbit/s)  
1 Fernsehgerät, Betriebsdauer 6 Stunden/ Tag: 162 GByte/Monat
- Standard-Auflösung (erfordert eine ständig verfügbare Downloadkapazität von ca. 2 Mbit/s)  
1 Fernsehgerät, ständig eingeschaltet (z. B. für zusätzlichen Download von Videofilmen, oder aufgeteilt auf mehrere, zeitweilig betriebene Fernsehgeräte): 648 GByte/Monat
- HDTV (hohe Auflösung, erfordert eine ständig verfügbare Downloadkapazität von ca. 10 Mbit/s)  
1 Fernsehgerät, Betriebsdauer 6 Stunden/ Tag: 810 GByte/Monat
- HDTV (hohe Auflösung, erfordert eine ständig verfügbare Downloadkapazität von ca. 10 Mbit/s je Videostream)  
2 Fernsehgeräte/ Recorder mit unterschiedlichen bzw. zeitversetzt abgerufenen Programmen,  
Betriebsdauer je 12 Stunden/ Tag: 3.240 GByte/Monat

Im Interesse eines befriedigenden Netzbetriebes sollte also gründlich geprüft werden, ob eine größere Anzahl von IPTV-Nutzern oder gar die durchgängige Umstellung der Fernsehversorgung auf das Internet überhaupt sinnvoll und bezahlbar ist.

2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Grundstruktur einer Breitband-Internet-Versorgung

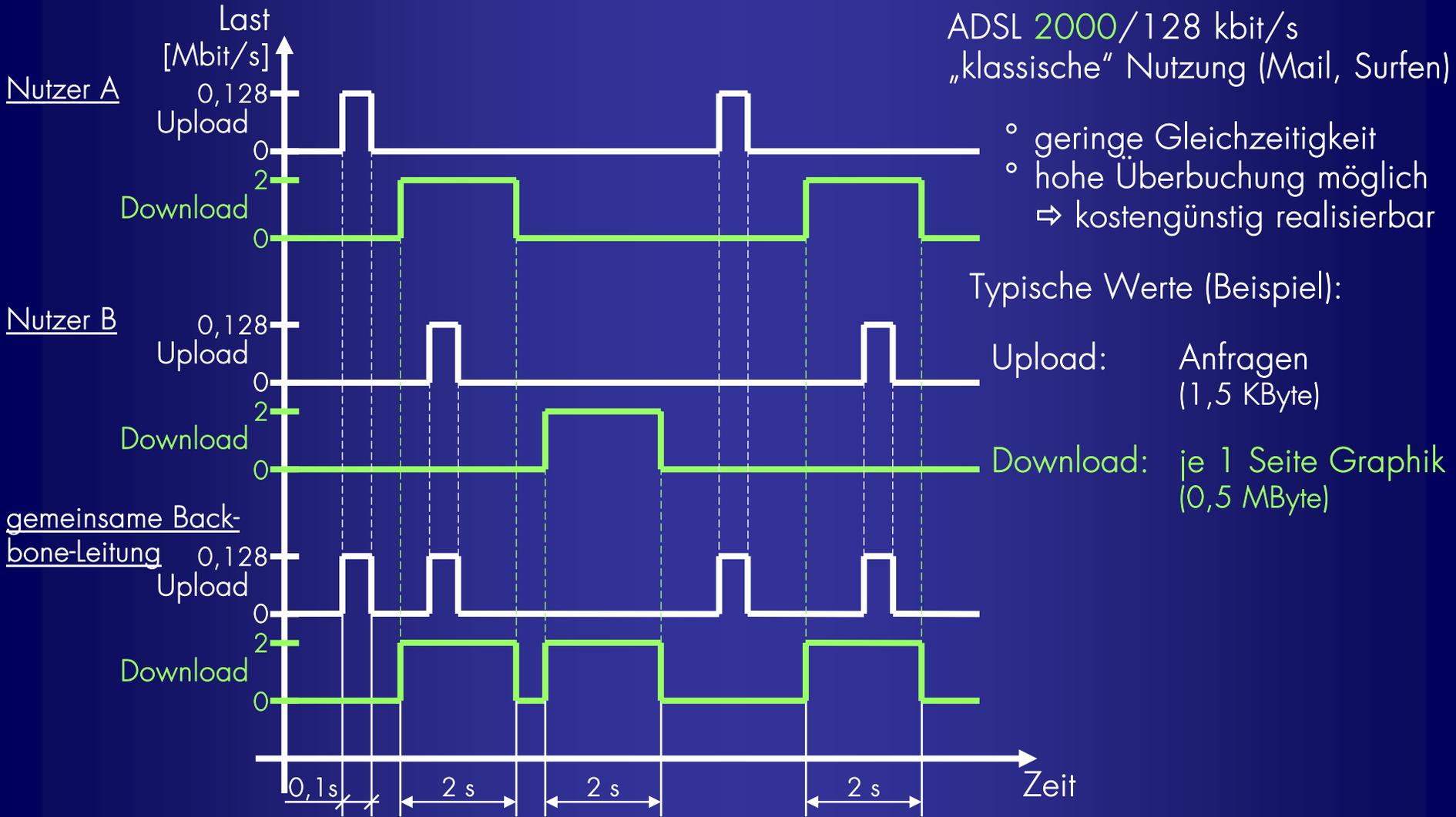
Technologie



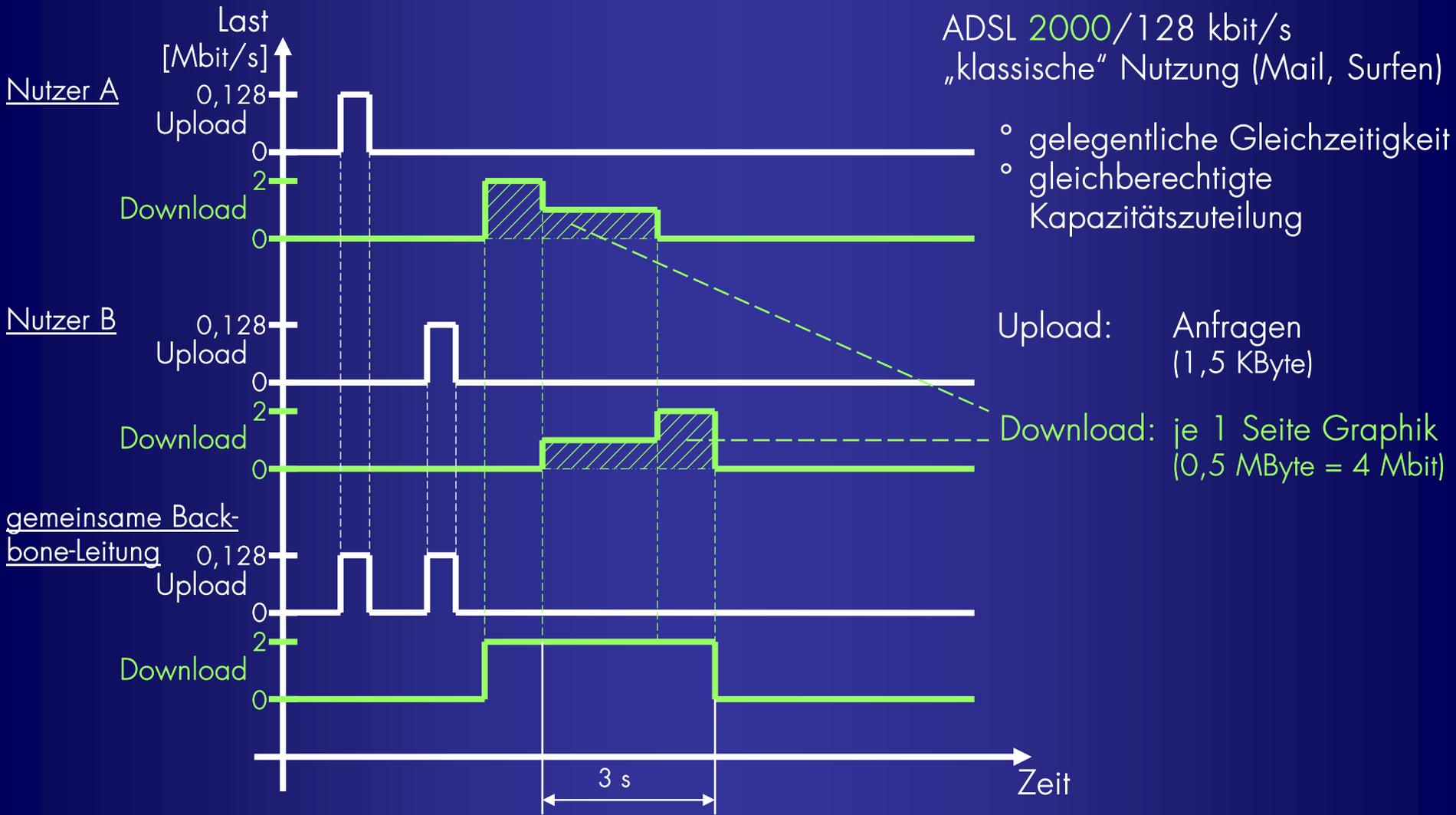
**Überbuchung: (ADSL/ Privatkunden)** 20 Kunden mit je „bis zu 2 Mbit/s“ werden über eine gemeinsame Festverbindung mit 2 Mbit/s versorgt

analog: - ein gemeinsamer Access-Point bei W-LAN/ WiMAX (22 Mbit/s)  
 - ein gemeinsamer Transponder bei Satellitenzugang (28 Mbit/s)  
 - ein ehemaliger TV-Sender bei „Digitale Dividende“ (..50 Mbit/s)  
 - ein UMTS-Sender (ca. 10 Mbit/s)

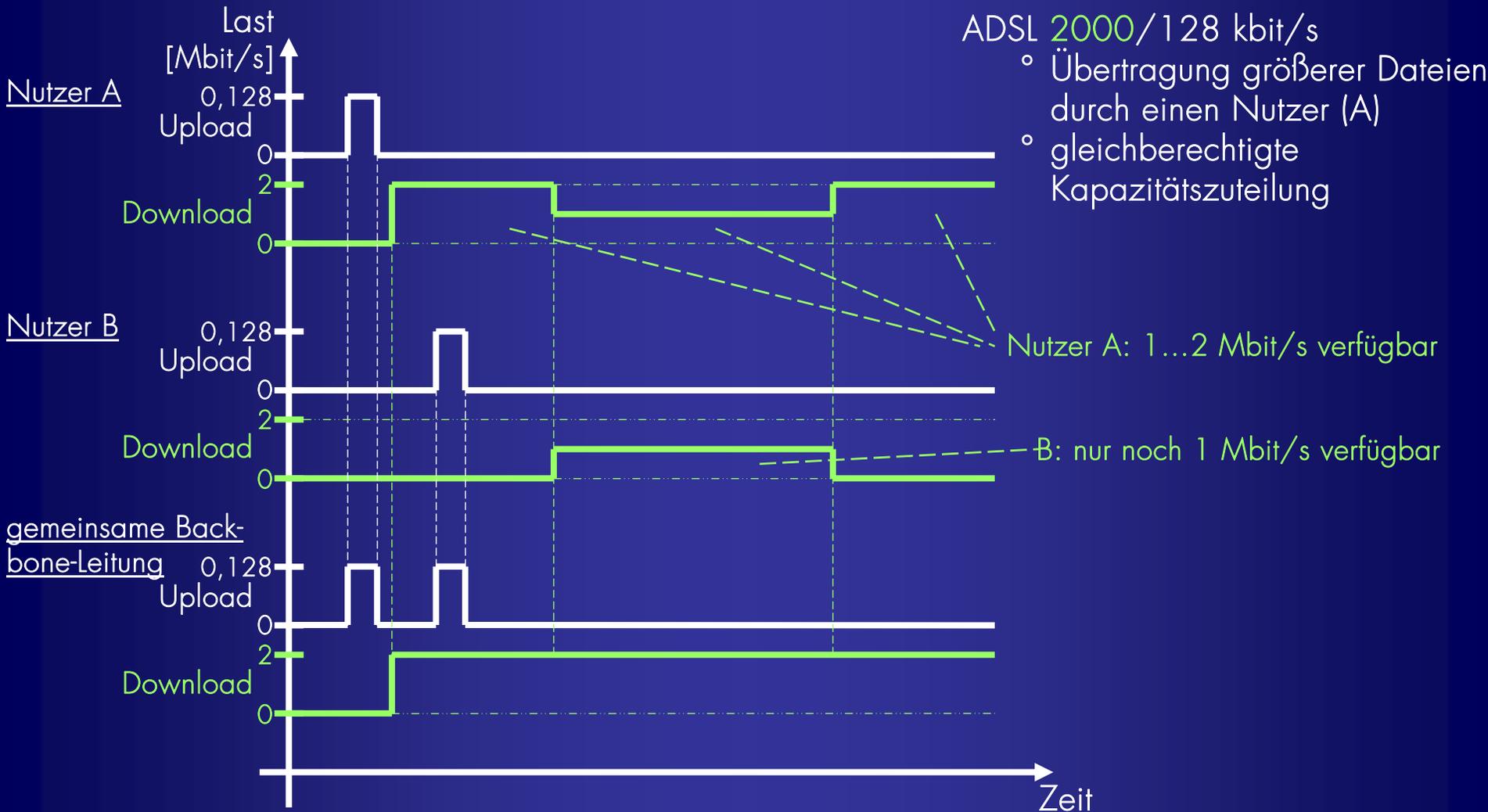
2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Auslastung von Internetanschlüssen: geringe Last



2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Auslastung von Internetanschlüssen: leichte Überlastung

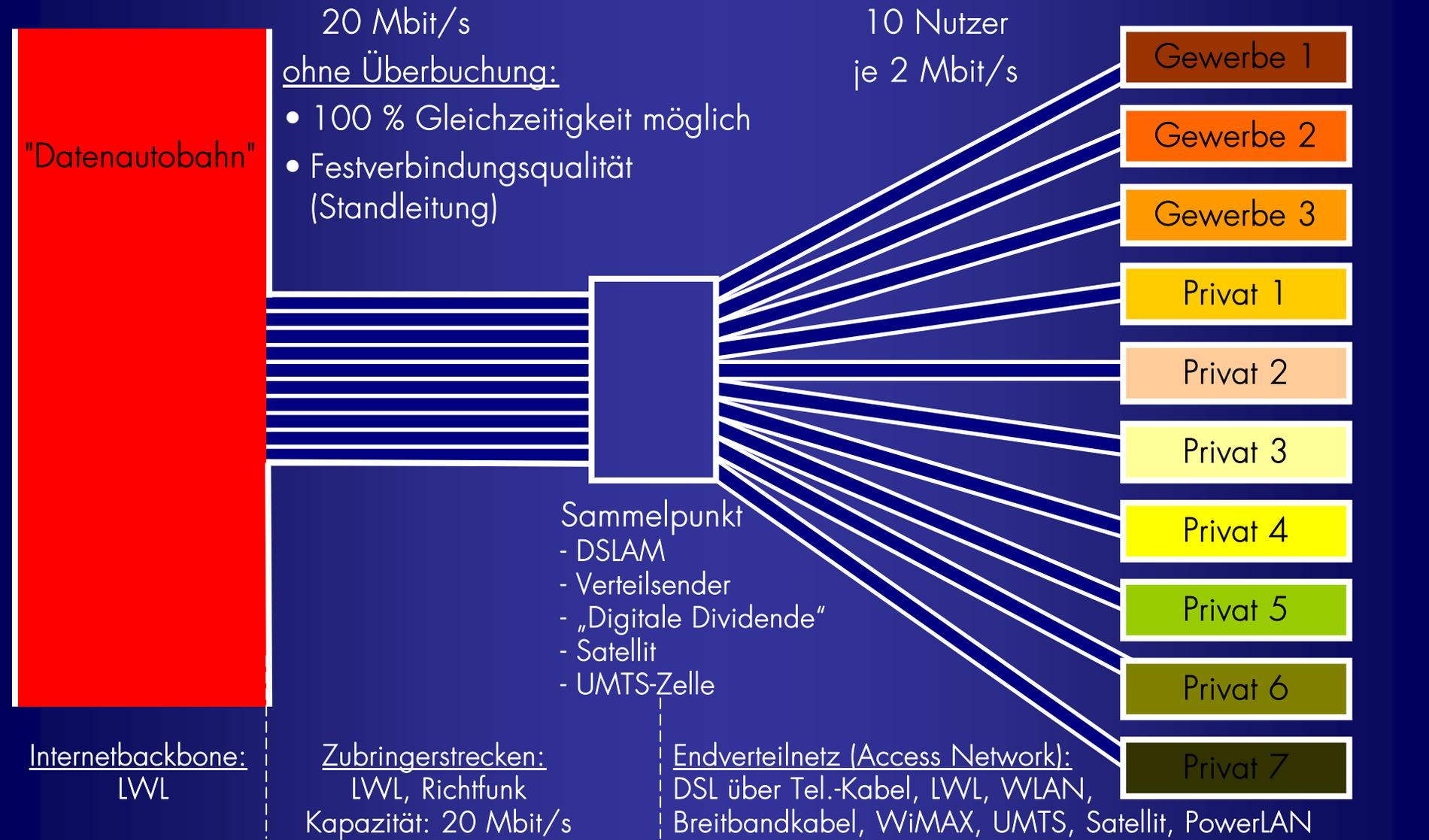


2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Auslastung von Internetanschlüssen: Download größerer Dateien

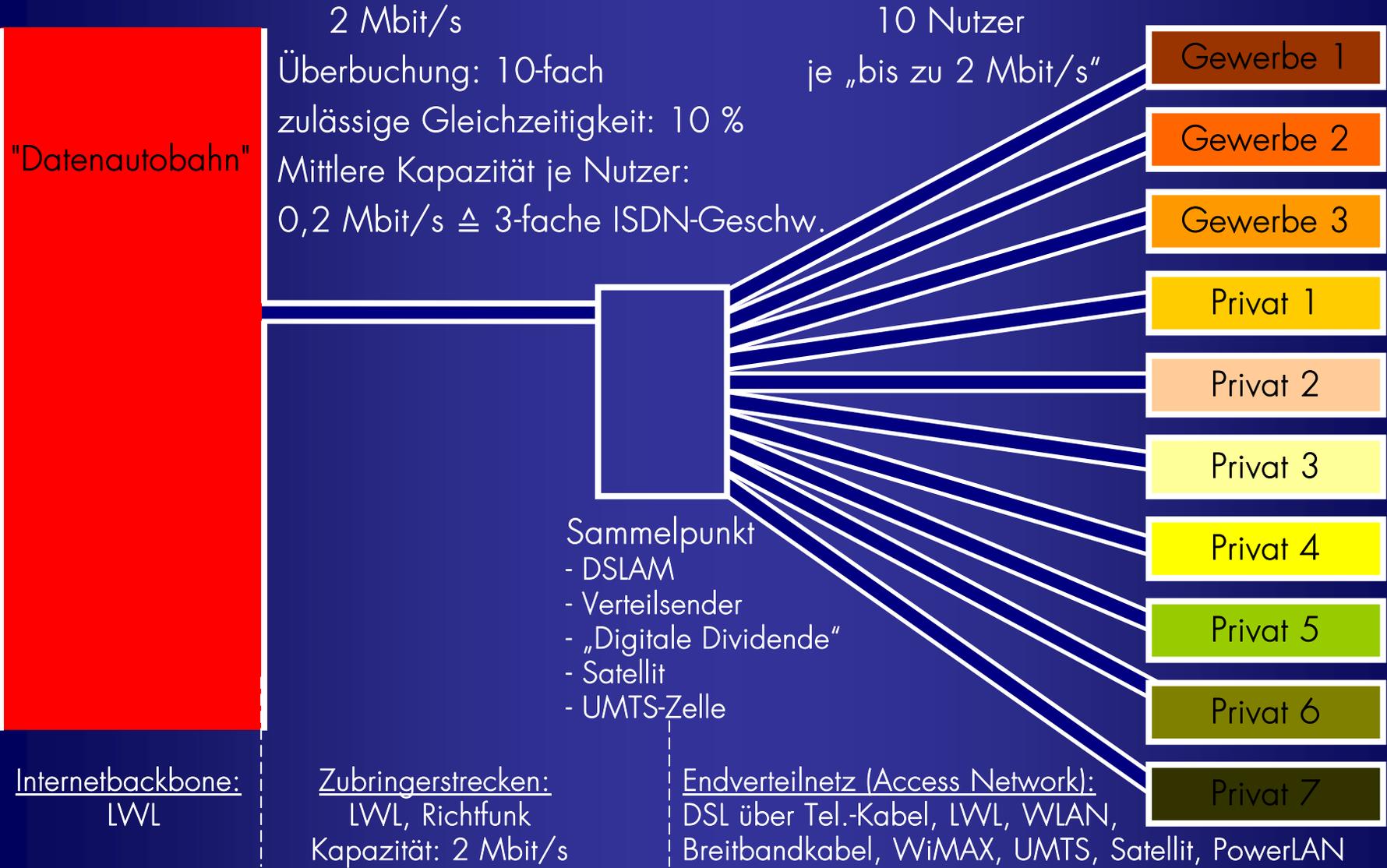


Bei 20 gleichzeitigen Downloads: nur je 0,1 Mbit/s verfügbar!

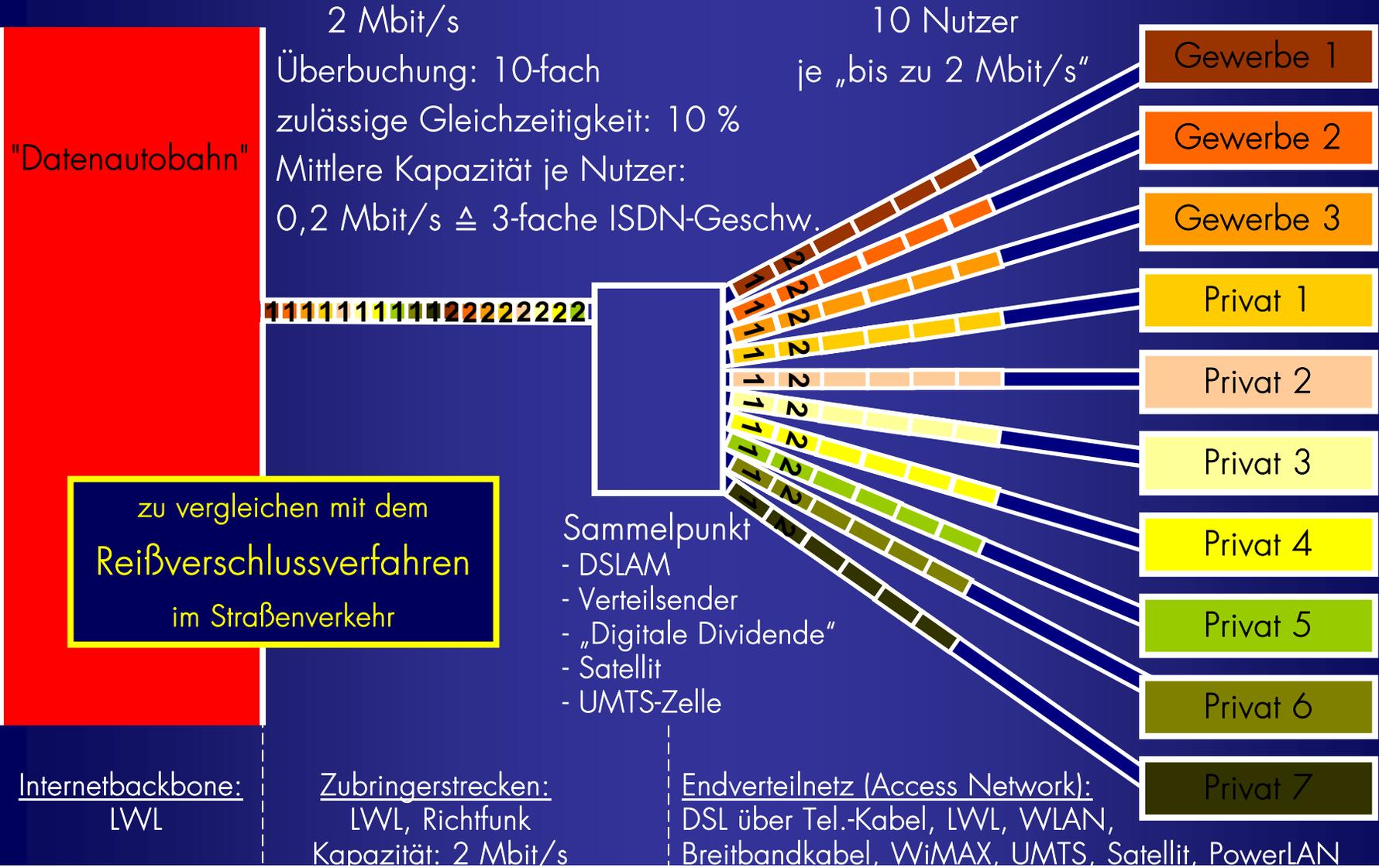
2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Gleichzeitigkeit und Überbuchung



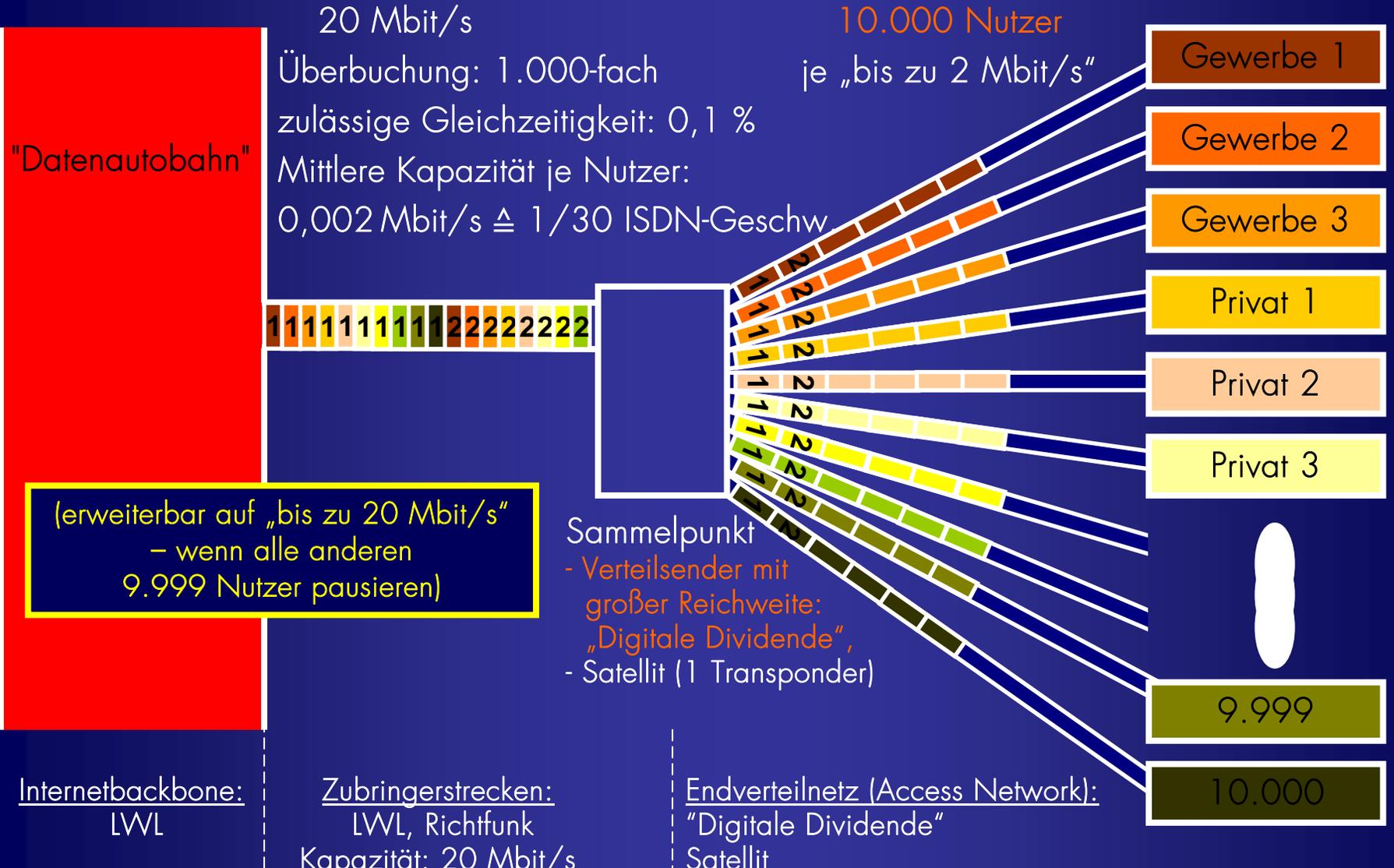
2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Gleichzeitigkeit und Überbuchung



2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Gleichzeitigkeit und Überbuchung



2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Gleichzeitigkeit und Überbuchung



## 2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien Ursachen für höhere Gleichzeitigkeit und Überbuchung

- vom Nutzer veranlasst (und damit – in gewissen Grenzen - beeinflussbar):
  - Download großer Mail-Anhänge  
(z.B. hochauflösende Fotos, Bildfolgen und Videoclips)
  - Download von Software (...einige 100 MByte)
  - Download von Filmen  
(z.B. 1 GByte: belegt 2 Mbit/s über 1,2 Stunden)
  - Videostreaming: diverse Videokameras ... IP-TV ... HDTV
- vom Computer-System veranlasst (unabhängig vom Nutzer):
  - automatische Software-Updates: ...fernsynchronisierte Überlast  
(z.B. gleichzeitig gestartete Windows-Updates)
  - automatische Viren-Updates
  - auch: ferngesteuerte Überlast  
(Hacker-Angriffe: Netzzusammenbruch durch gezielte Überlastung)

⇒ Nutzungsbeschränkungen in den AGB:  
z.B. „privattypisches Nutzerverhalten“, „FUP“, „Flatrate mit Inklusivvolumen“

2.6. Hinweise zu anderen Kommunikationstechnologien  
Fair Use PolicyVertragsbedingungen (in AGB):

- Internetzugang mit Flatrate & Fair Use Policy (FUP)
- normale Nutzung (Fair Use): z.B. bis zu 5 GByte pro Monat gestattet
- bei Überschreiten wird Geschwindigkeit vom Internet-Provider bis zum Monatsende drastisch reduziert (z.B. auf 64 Kbit/s  $\triangleq$  ISDN-Geschwindigkeit)

<u>Nominelle Geschwindigkeit</u>	<u>Maximale Download-Dauer</u> mit voller Geschw.	<u>Maximal zulässige Auslastung</u>	<u>projektierte Überbuchung</u>
„2 Mbit/s“	ca. 6 Stunden	0,833 %	120-fach
„6 Mbit/s“	ca. 2 Stunden	0,278 %	360-fach

(von  $30 \cdot 24 = 720$  Stunden/Monat)

⇒ Die vertraglich als „unbegrenzt“ (Flatrate) zugesicherte Geschwindigkeit darf nur wenige Stunden pro Monat genutzt werden:

⇒ Indirekte Verhinderung einer höheren Gleichzeitigkeit bei  
der Nutzung von Internet-Anschlüssen

### 3. Hinweise zu Methoden für die Begrenzung der Netzbelastung Grenzen WIMAX, UMTS, LTE und weiterer PMP-Funk-Verteiltechniken

Kommentar zu LTE-Tarifen .../ Stand 23.02.2011

Tarifart	LTE Zuhause Internet 3600S	LTE Zuhause Internet 7200S	LTE Zuhause Internet 21600S	LTE Zuhause Internet 50000S
Inklusivvolumen je Monat	5 GBytes	10 GBytes	15 GBytes	30 GBytes
Bandbreite Download	bis zu 3,6 Mbit/s	bis zu 7,2 Mbit/s	bis zu 21,6 Mbit/s	bis zu 50 Mbit/s
Monatliches Inklusivvolumen mit max. Download- Bandbreite verbraucht nach:	3,1 Stunden	3,1 Stunden	1,5 Stunden	1,3 Stunden
	(Zeitdauer je Monat, während der die Download-Bandbreite tatsächlich genutzt werden darf)			
Zulässige Gleichzeitigkeit: Anteiliger Zeitraum, während dem die vertraglich zugesicherte Leistung (Bandbreite) tatsächlich genutzt werden darf	0,43 %	0,43 %	0,21 %	0,18 %
	(1 Monat=720 Stunden)			
Überbuchung (Mehrfachver- kauf derselben Kapazität)	232-fach	232-fach	480-fach	554-fach

Siehe Fachartikel: Zur Dimensionierung der Übertragungskapazitäten für die Breitband-Internetversorgung vom 30.05.2010

### 3.1. Planung und Betrieb über großen Wasserflächen: Spiegelung, Mehrwegeausbreitung / Gliederung

1. Ausgangssituation, Grundlagen, Besonderheiten
  - Funkausbreitung über schwankendem Wasserpegel (Tidenhub)
  - Schwankungen des Reflexionsverhaltens der Wasseroberfläche
  - wassernahe Grenzschichten und Temperaturunterschiede
  - Raum-Diversity
  - Praxis-Beispiele
2. Ermittlung Line of Sight (LoS)
3. Dimensionierung der freizuhaltenden Bereiche für eine ungehinderte, stabile Funkausbreitung unter Berücksichtigung der spezifischen geografischen Bedingungen
4. Auswahl des Frequenzbereiches, Berechnung des Funkfeldes gemäß ermittelter Streckenführung, Verfügbarkeitsberechnung, Antennenauswahl
5. Bestimmung der Antennenstandorte und -höhen

### 3.1. Planung und Betrieb über großen Wasserflächen: Spiegelung, Mehrwegeausbreitung / 1. Ausgangssituation, Grundlagen

Folgende technische Parameter sind zugrunde zu legen (beispielhaft):

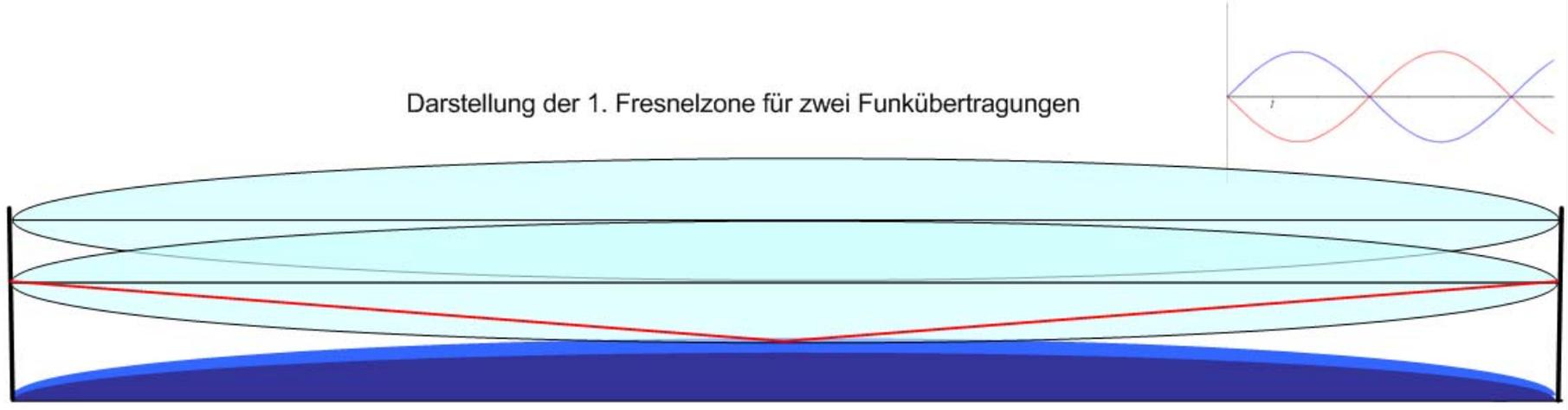
- Nutzung von Richtfunk im regulierten Frequenzbereich
- Übertragungskapazität mind. 10 Mbit/s
- Schnittstellen: Ethernet, E1/S<sub>2</sub>/G.703...
- Verfügbarkeit der Kommunikationsverbindung bezogen auf ein Jahr: mindestens 99,5 % (Einzelstrecke ohne Redundanz)
- Leitfabrikat: z. B. LCE-Link/2
- Fernzugang über SNMP basiertes Netzwerkmanagement
- bevorzugte Gegenstelle: ... (Höhe xx m, Höhe Gelände: yy m, Koordinaten: E... N...)
- zur Verfügung gestellte Planungsinformationen

3.1. Planung und Betrieb über großen Wasserflächen: Spiegelung, Mehrwegeausbreitung / 3. Dimensionierung (Beispiel – anonymisiert)

	Sende- frequenz in GHz	Wellenlänge in mm	Radius Fresnelzone in m	Erd- krümmung in m	Max. Antennen- montagehöhe
Funkturm mmm: 29,4 km	7,5	40	17,3	17	Seeseite: 25m (von WEA xx) Landseite: 110m üNN: 54m
	13	23	13,1		
	15	20	12,2		
	18	17	11,3		
Funkturm nnn: 66,0 km	7,5	40	25,7	85	Seeseite: 45m (Mast auf HV-Konv.) Landseite: 93m üNN: 3m
	13	23	19,5		
	15	20	18,2		
	18	17	16,7		

## 3.1. Planung und Betrieb über großen Wasserflächen: Spiegelung, Mehrwegeausbreitung / 3. Dimensionierung

Darstellung der 1. Fresnelzone für zwei Funkübertragungen



Signalauslöschung am Empfangsort: Direkte und gespiegelte Welle mit gleichem Pegel, aber gegenphasig. Um die möglichen Auswirkungen einer Signalauslöschung infolge Mehrwege-Ausbreitung zu vermeiden, werden zwei Richtfunkstrecken übereinander in unterschiedlicher Höhe derart installiert, dass sie sich gegenseitig abstützen, indem bei Signalauslöschung der einen Verbindung (infolge Phasenverschiebung  $180^\circ$  bei gleicher Amplitude) die andere Verbindung ungestört weiter arbeitet und umgekehrt. Dabei kann auf die Freihaltung der Fresnelzone sogar verzichtet werden. Der Abstand der Antennen muss lediglich so gewählt werden, dass er im günstigsten Fall dem maximalen Radius der Fresnelzone entspricht (s. Tabelle oben). Die Montagehöhe der unteren Antenne muss die freie Sicht zur Gegenstelle bei Berücksichtigung der Erdkrümmung und des Tidenhubs sicherstellen.

## 3.1. Planung und Betrieb über großen Wasserflächen: Spiegelung, Mehrwegeausbreitung Auswahl des Frequenzbereiches, Berechnung des Funkfeldes, Verfügbarkeitsberechnung, Antennenauswahl

### Funkfeldberechnung (Beispiel):

Customer: \_\_\_\_\_ Date: 14.2.2011 Project: Windpark

---

**Pathdata**

Path Name: Windpark

Terrainfactor: 22 m  
Rain Zone: H 32 mm/h  
Climatic Factor: 1

Site A: WEA 44 ← 29,48 km → Site B:

Enter Rainfall int. Use ITU Rainzones

---

**Equipment Data**

Frequency: 15 GHz      Antenna TX: 1,2 m      Antenna RX: 0,6 m  
Capacity and Bandwidth: 30 Mbps / 14 MHz MHz  
Output Power: 16 dBm      Polarization: V      Gain for non-standard antennas  
RX Threshold:  Use Non-standard antennas

at 10-3: -91 dBm  
at 10-6: -88 dBm  
at 10-9: -85 dBm

---

**Gains and Losses**

Atmospheric Loss: 0,032 dB/km      Antenna Gain TX: 42,6 dBi      Antenna Gain RX: 36,8 dBi  
Feeder Loss: \_\_\_\_\_ dB  
System Loss: \_\_\_\_\_ dB

---

**Performance results**

Fade Margin:	Availability (%)	Rainfall	Multipath	Outage (%)	Rainfall	Multipath	Rain Min/yr	Multi Min/yr
at 10-3: 40,1 dB	at 10-3: 99,998	99,999843		at 10-3: 0,002	0,000157		10,512	0,825192
<b>at 10-6: 37,1 dB</b>	<b>at 10-6: 99,9976</b>	<b>99,999652</b>		<b>at 10-6: 0,0024</b>	<b>0,000348</b>		<b>12,6144</b>	<b>1,829088</b>
at 10-9: 34,1 dB	at 10-9: 99,997	99,99923		at 10-9: 0,003	0,00077		15,768	4,04712

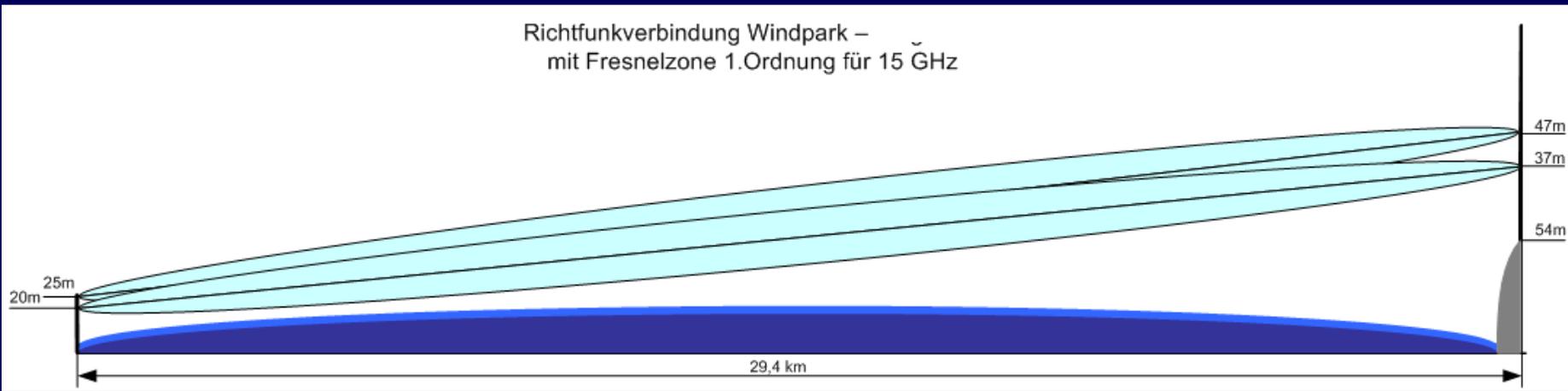
Unfaded RX-level: -50,9 dBm      Total Availability: 99,997252 %      Total Outage: 0,002748 %      Total timelr: 14,443488 Min/yr

Load Path Save Path



- 3.1. Planung und Betrieb über großen Wasserflächen: Spiegelung, Mehrwegeausbreitung  
Auswahl des Frequenzbereiches, Berechnung des Funkfeldes, Verfügbarkeitsberechnung,  
Antennenauswahl

## Funkfeldberechnung:



## 3.2. Richtfunktauglichkeit der Antennenstandorte

Öffnungswinkel der Antennen:  $0,5 \dots 3^\circ$

(je nach Größe, Frequenzbereich, Typ, Hersteller, Planung)

⇒ hohe Anforderungen an Stabilität des Montagepunktes und der Justagehalterungen:

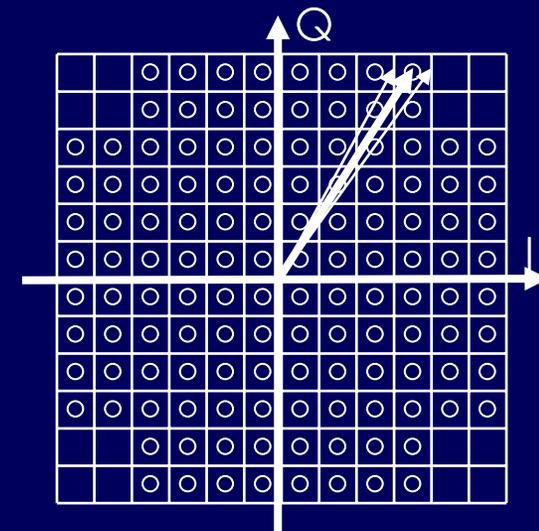
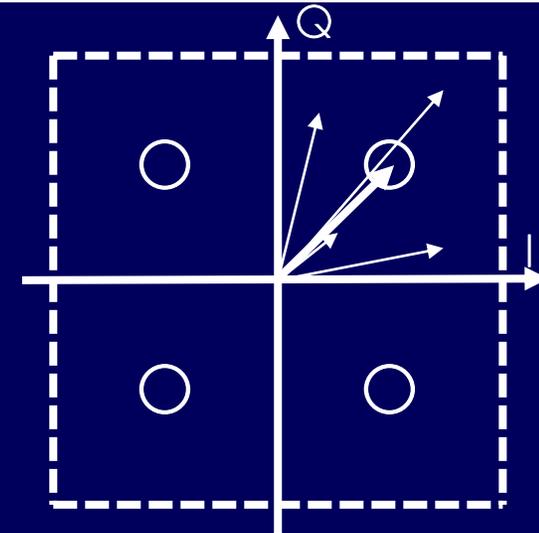
- Festigkeitsnachweis
- Statik
- Dynamik
- Empfindlichkeit der eingesetzten Technik und der eingestellten Übertragungsverfahren

Beachten: größere Empfindlichkeit höherwertiger Modulationsverfahren gegen Schwingungen der Montagepunkte

## 3.2. Richtfunktauglichkeit der Antennenstandorte

Einfluss des Modulationsverfahrens auf die Übertragungsqualität:

- QPSK: Übertragung von 4 Zuständen/2 Bit je Symbol („Schritt“)
  - Amplitude wird nicht als informationstragende Signalgröße verwendet
  - Damit unempfindlich gegen Amplitudenschwankungen (z. B. schwankende atmosphärische Dämpfung, Reflexionen, In-Band-Störer...)
  - „robuste“ Modulation
- 128 QAM: Übertragung von 128 Zuständen/7 Bit je Symbol (größerer Wertevorrat -> „höherwertige Modulation“)
  - Signalamplitude wird als Informationsträger genutzt
  - Bereits bei kleinen Störeinflüssen (vektorielle Addition !) werden falsche Punkte im Zustandsgraph erreicht, d. h. es werden fehlerhafte Symbole zugeordnet,
  - werden über Sicherungsverfahren als Bitfehler erkannt (CRC, FEC...)
  - Nachregelung bei Amplitudenänderungen wird kompliziert bis unmöglich (vor allem bei schnellen Änderungen)
  - Hohes Signal-Stör-Verhältnis erforderlich, d. h. nur für besonders gute bzw. ungestörte und hochstabile Übertragungskanäle geeignet



## 3.3. Seewasserbeständigkeit der eingesetzten Technik

- Materialpaarungen Stahl (verzinkt) – Kupfer – Aluminium und diverse Kunststoffe  
⇒ höhere allgemeine Korrosionsgefahr durch Salzwasser
- Lokalelementbildung, insbesondere zwischen engtolerierten Präzisionsbauteilen  
⇒ Gefahr des Materialabtrags für das „unedlere“ Metall
- Mess- und Prüfbedingungen: z. Bsp. Salzwassernebel, intermittierend
- Einsatz moderner Technologien und Werkstoffe: z. B. Antennen aus Kunststoff mit Kohlefaser-Armierung / witterungsbeständig, resistent gegen UV-Strahlung

## 3.4. Erschwerte Service-/Wartungsbedingungen

- Sicherheitsanforderungen, Arbeitsschutz
- Anfahrtmöglichkeiten, Witterungsabhängigkeit

⇒ Spezifische, angepasste Lösungen:

- Redundanz: als betriebsfähig installierte Technik vor Ort vorhalten (auch wenn nur Redundanz für z. Bsp. LWL-Seekabeltrassen)
- Disjunkte Wegführung
- Fernüberwachung mit treffsicherer Fehlerlokalisierung
- Autonome, mehrfach abgestützte Stromversorgung
- regelmäßige, vorbeugende Vor-Ort-Wartungen

## 3.5. Richtfunkinstallation an einer WEA Enercon E40 in ca. 30 m Höhe

Ausgangssituation: WEA der Spreewind GmbH  
mit Mobilfunk-Station in ca. 50 m Höhe



## 3.5. Richtfunkinstallation an einer VEA Enercon E40 in ca. 30 m Höhe

Nach Installation der kleinen  
Richtfunk-Relaisstelle in ca. 30 m Höhe  
Antennendurchmesser: 30 bzw. 15 (!) cm



## 3.5. Richtfunkinstallation an einer VEA Enercon E40 in ca. 30 m Höhe

Kleiner Systemschrank mit Notstromversorgung:



## 4. Verträglichkeit von WEA mit bestehenden Richtfunkstrecken

### 1. Störung derselben Strecke durch Dämpfung / „Abschattung“:

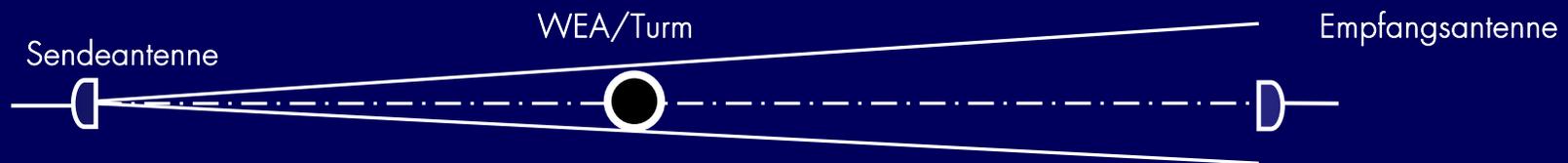
- Kernbereich zwischen den Antennen muss frei bleiben (Minstdurchmesser ca. 2...15m)
- freie Fresnelzone: weder notwendig noch hinreichend (!)
- durchlaufende Flügel, nichtleitend/ohne Metallanteil:
  - für einfache/robuste Modulationsverfahren (PSK, FM): tolerierbar
  - für komplizierte/höherwertige Modulationsverfahren (AM, QAM):  
Pegelschwankungen führen zu periodischen Ü-Störungen  
(„Ausrasten“ der Demodulationsstufen, erfordert Neusynchronisation)

### Einflussfaktoren:

- Frequenzbereich
- Antennengröße und Abstrahldiagramm (Öffnungswinkel der Hauptkeule)
- Streckenlänge
- Modulationsverfahren
- Polarisierung
- Geräteeigenschaften
- weitere Ausbreitungsbedingungen
- Detailplanung
- Installationsdetails

## 4. Verträglichkeit von WEA mit bestehenden Richtfunkstrecken

## Abschattung der Empfangsantenne



Bundesnetzagentur prüft die Koordinaten des Baufeldes bzw. der Entwicklungsgebiete auf vorhandene Frequenzuteilungen kreuzender Richtfunkstrecken und informiert die Eigentümer der Frequenzen, sodass vorausschauende Abstimmung und Koordinierung möglich ist (künftig: Pflichtanfrage durch Investor bzw. dessen Planer bei der BNetzA)

## 4. Verträglichkeit von WEA mit bestehenden Richtfunkstrecken

## 2. Störung weiterer Strecken durch Spiegelung

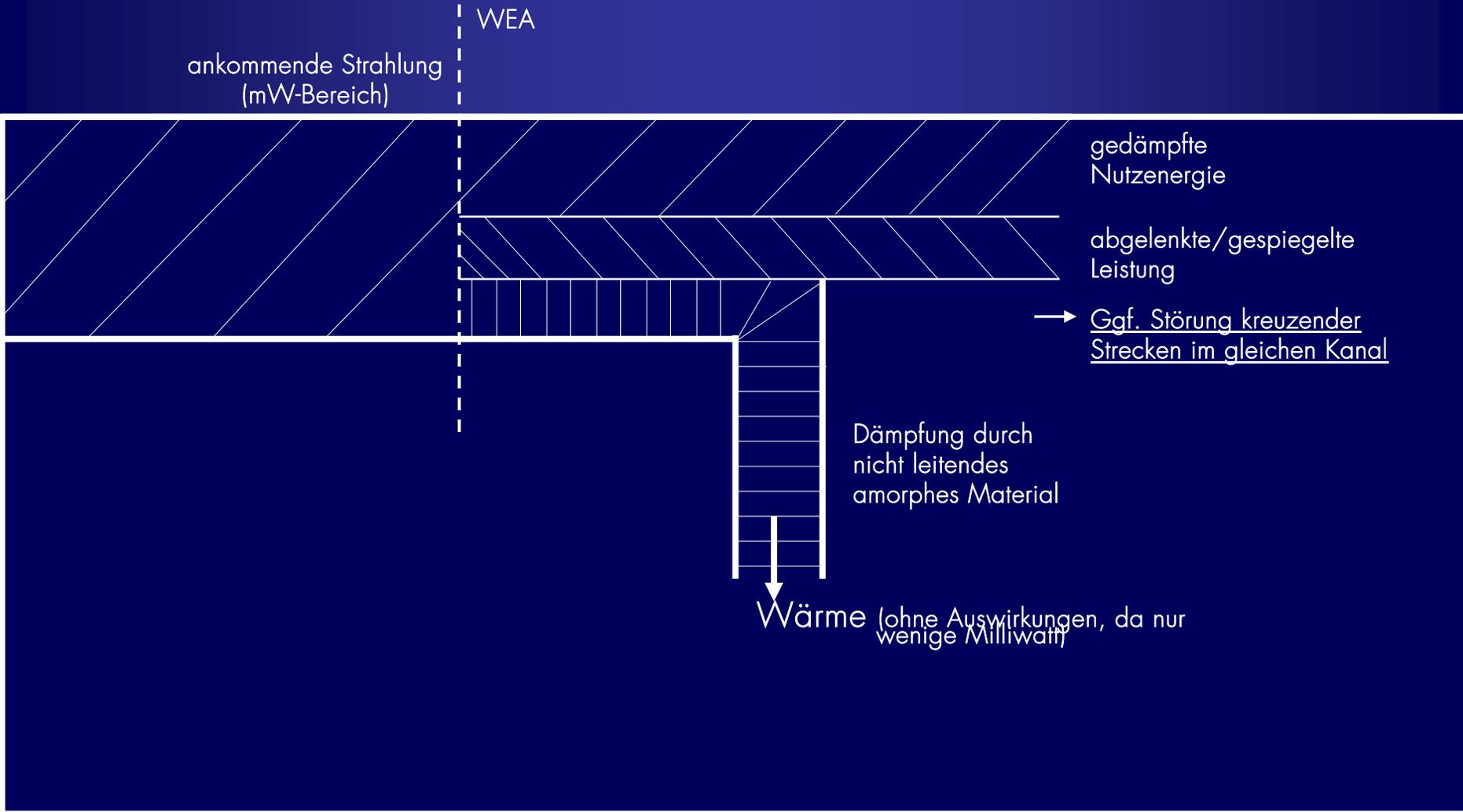
Glatte metallische Flächen spiegeln die Mikrowellenstrahlung und können andere Richtfunkstrecken im gleichen Kanal stören, die sich sonst rückwirkungsfrei kreuzen würden.

## Einflussfaktoren:

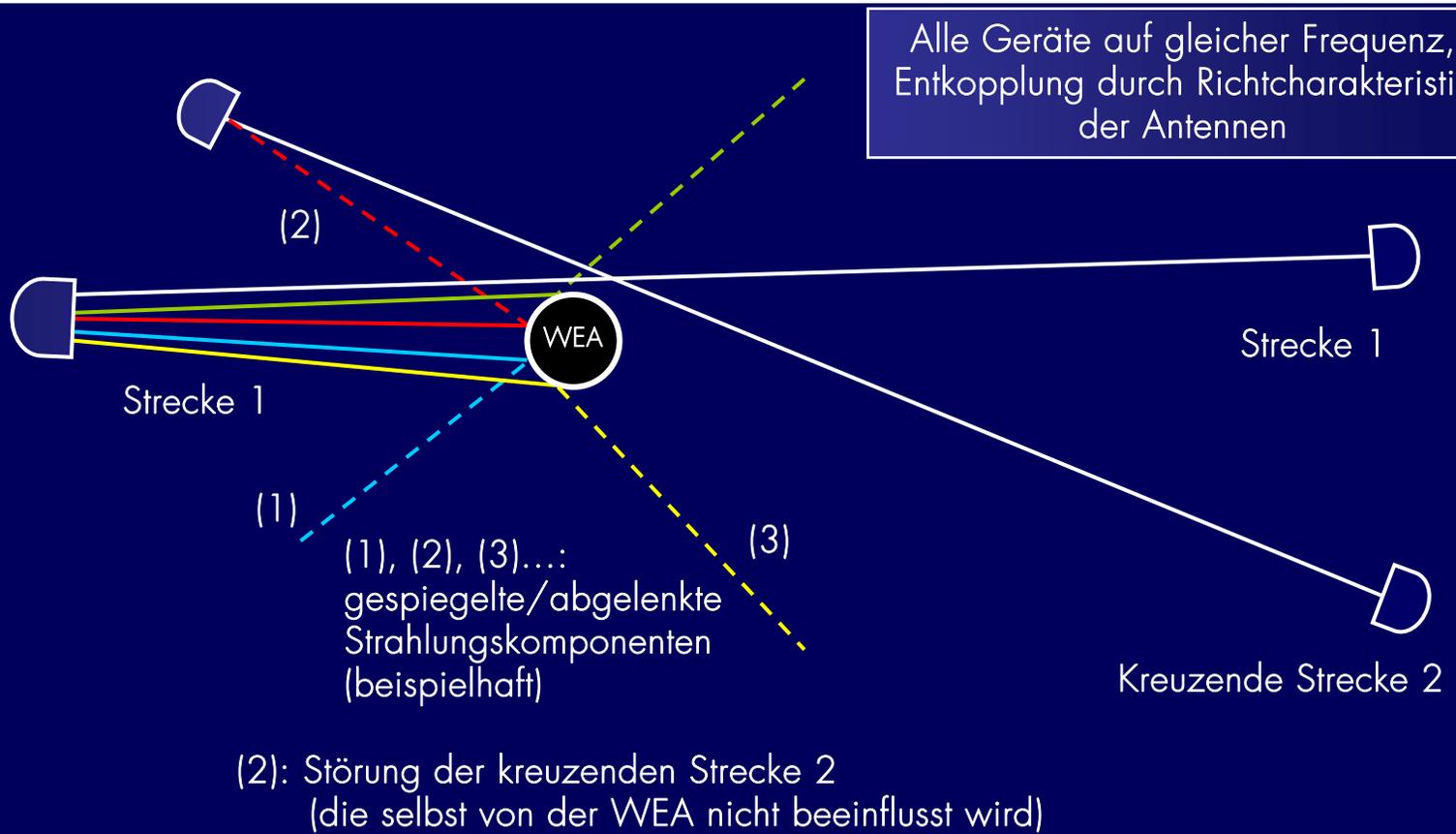
- Material und Oberflächenbeschaffenheit des Turms der WEA: Stahl/Stahlbeton/Gitter
  - Leitfähigkeit
  - Ebenheit
  - Reflexions- bzw. Dämpfungseigenschaften
  - Leistungsbilanz der kreuzenden Strecken
  - Frequenzbereich
  - Antenneneigenschaften, insbesondere Öffnungswinkel von Haupt- u. ggf. Nebenkeulen
  - Polarisierung
  - Modulationsverfahren
  - weitere Planungs- und Installationsdetails
- ⇒ - Spezialplanung/Sachverständigen-Gutachten/Variantenvorschläge
- Abwägung von Lösungsvarianten nach technischen/wirtschaftlichen und genehmigungsrechtlichen Kriterien

# 4. Verträglichkeit von WEA mit bestehenden Richtfunkstrecken

## Energiebilanz: Kreuzung RiFu-Strecke - WEA



Störung durch Spiegelung



- (1) Wirtschaftliche Auswirkungen der Digitalen Dividende in Deutschland:  
Studie der GOLDMEDIA GmbH und Prof. Mugler AG, 12.02.2009
- (2) Zur Dimensionierung der Übertragungskapazitäten für die Breitband-Internetversorgung  
Fachartikel Dr. Rolf Thier, 30.05.2010
- (3) Zur absehbaren geringen Wirksamkeit der Nutzung der „Digitalen Dividende“ im VHF-Bereich  
Fachartikel Dr. Rolf Thier, 22.08.2010
- (4) Auswirkungen der Latenzzeit auf die nutzbare Übertragungsrage in LAN-WAN-Kopplungen  
Fachartikel Dr. Rolf Thier, 06.02.2007

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Kontaktdaten:

Dr. Rolf Thier  
LAN-COM-East  
Datennetze & Rechnerkommunikation GmbH

Dr. Rolf Thier  
EDV-Sachverständiger (DESA)

Industriestraße 20  
15366 Hoppegarten  
Tel.: 03342 359330; 030 7477830  
Mail: [th@LAN-COM-East.de](mailto:th@LAN-COM-East.de)

- Weitergabe und Vervielfältigung nur mit Zustimmung des Autors -

Zum Anfang

