


Medienengineering, Netzwerke
Basistechnologien

Netzwerktechnologien
 und multimediale
 Teledienste




Verbindungsschicht


Link Layer

Prof. Dr. – Ing. Klaus Rebensburg





Gliederung


Netzwerktechnologien
 und multimediale
 Teledienste




- Einleitung
- Netzwerkstrukturen
- Grundlagen lokaler Netze
- Übertragungstechnik im LAN
- logische Netzelemente
(Leitung, Repeater, Bridge, Router, HUB)
- MAN / WAN Technologien
- LAN Technologien
- Ethernet, TR, FDDI, 100MBit, Gigabit Ethernet
- Drahtlose Netze
- WLAN, Hiperlan, GPRS, UMTS
- Ausblick




2


Einleitung Struktur 1


Netzwerktechnologien
 und multimediale
 Teledienste



Applikation	Web hosting Fax Voice Customer specific Video E-commerce
Management	Roaming Quality Security Registration Billing
Infrastruktur	The Internet IP VPNs IP WANS
Access	Frame relay Leased lines ATM Dial-up modems CaTV Wireless ISDN Frame relay xDSL



3



Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste

Einleitung Struktur 2

Management-Framework

Services									
Basic Services (anonymous focus)			Customized Services (Community / exhibitor focus)				Location based Services		
Information Services	Ticket Services		Office Services	Customer relationship Services	Guide Services	Search Services	Identification		
Basic - Services									
Presence Service	Document management	Content Management	Security systems smartCard	Desk Trip	Contact Center	Unified Messaging	Sprachsysteme	Portal	
Middleware									
Lokations Bestimmung	Verzeichnis is-dienste	Security/AAA	CORBA	Application Server	Web Server	Agenten-technologien			
Transport (voice / data)									
WAP	IP (Mobile, VoP, Multicast)	ISDN	ATM, FR, X.25	MHP					
Access (mobile / fix)									
Bluetooth	WLAN 802.11ab	DVB-T	GSM/GPRS	UMTS	Hiperlan II	ISDN			
Devices (mobile / fix)									
Laptop	PDA	Mobile	Telefon	PC	...				


4


Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste

Einleitung


Klassifizierung von Anwendungen

5


Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste

Einleitung Historie

Historische Betrachtungen



Universität Potsdam
Institut für Informatik

Technologien

- 1960 Modem, Standleitungen
- 1976 X.25
- 1984 ISDN, Basis GSM
- 1991 Frame Relay
- 1993 MAN, ATM
- 1998 UMTS

Protokolle

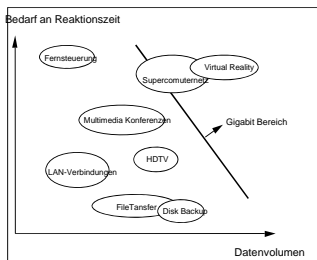
- Ende 1969 ARPA Netz
- 1978 TCP/IP
- 1984 breiter Einsatz von TCP/IP NFSnet
- 1993 Internet "hebt ab"
- 1999 IPv6

6



Ziele der Kommunikation

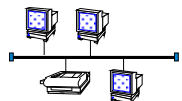
- Erfüllung der Anforderungen aus den Anwendungen
- kostengünstige Lösung
- zukünftige Bedürfnisse berücksichtigen
- Interaktion zwischen verschiedensten Systemen





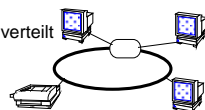
Bussystem (Ethernet, TokenBus)

- + komplett verteilt, einfache physikalische Realisierung
- Überlastverhalten



Ring (Token Ring, FDDI)

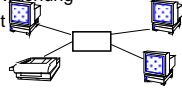
- + einfache Zugriffsverfahren, verteilt
- hohe Verkablungskosten





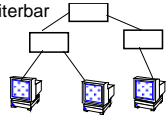
Stern (ATM)

- + einfacher Zugang und Überwachung
- beschränkte Erweiterbarkeit



Baum (IBM SNA)

- + einfacher Aufbau, leicht erweiterbar
- Kommunikation über Zentrale





Begriffsbestimmung LAN / MAN / WAN geographische Einteilung

- LAN Local Area Network (Vernetzung einzelner oder mehrerer Gebäude, bis ca. 100 MBit/s, geringe Fehlerrate)
- MAN Metropolitan Area Network (Bereich einer Stadt, meist Technologien und Komponenten wie LAN)
- WAN Wide Area Network (öffentliche Netze - Telekom, hohe Übertragungskosten)



LAN

- Ethernet IEEE 802.3
- Token Ring IEEE 802.5
- ANSI FDDI
- W-LAN 802.11

MAN

- DQDB IEEE 802.6, Frame Relay
- PON Passive optische Netzwerke?

WAN

- ATM, ISDN, X.25
- SDH, WDM
- PON Passive optische Netzwerke?



Signalübertragung im LAN

Quelle:



"on the link":

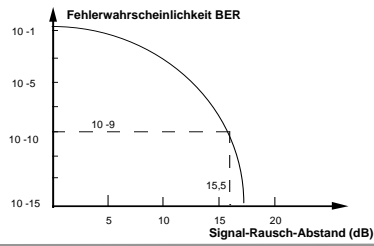


Ergebnis beim Empfänger:





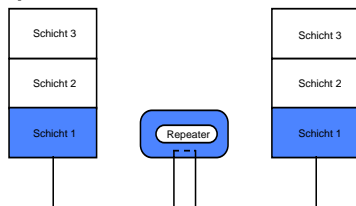
- Zusammenhang zwischen Bitfehlerrate (Bit Error Ratio) und SNR (Signal Noise Ratio)





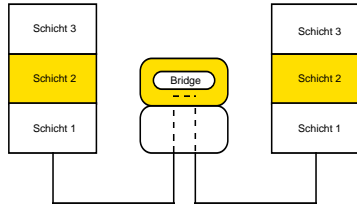
- logische Netzwerkelemente PHY

Repeater



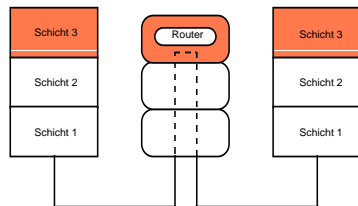


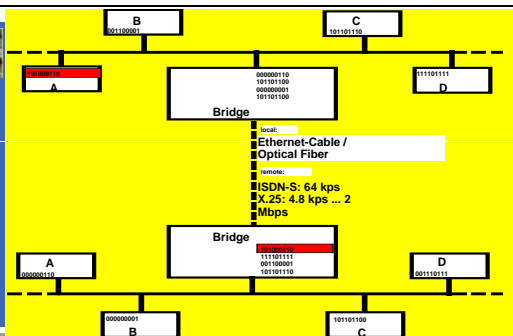
Bridge





Router



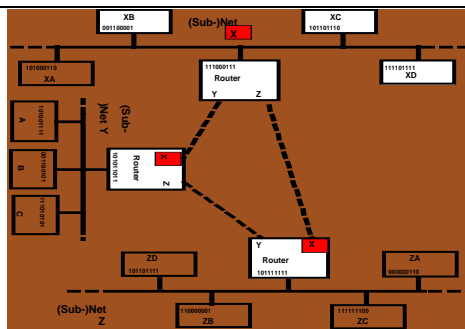


Bridge in Worten



- Eine **Bridge** verbindet zwei Segmente auf der Ebene der Schicht 2
- Eine Bridge kann auf der Unterschicht **MAC** oder der Unterschicht **LLC** arbeiten.
- Unterscheidung nach Art der Leitwegermittlung von Datenpaketen in **Transparent Bridge** und **Source Routing Bridge**
- **MAC-Bridge**: Eine MAC-Bridge verbindet Netze mit gleichen Zugriffsverfahren. Jeder Netzstrang empfängt nur die Pakete, deren Empfänger sich auch in diesem Netz befindet. (z. B. Standorte über meist langsamere WAN-Links ISDN oder X.25)
- Die **LLC-Bridge** (auch Remote-Bridge oder Translation Bridge) koppelt zwei Teilnetze mit verschiedenen Zugriffsverfahren (z.B. CSMA/CD und Token-Passing) wobei das Medium zwischen beiden Teilen hierbei egal ist. LLC-Bridge setzt um (Translation). Alle Parameter des Quellnetzes (wie MAC-Adresse, Größe und Aufbau des MAC-Frames) werden an das Zielnetz angepasst.
- Eine **Transparente Bridge** **lernt** MAC-Adressen der Teilnetze, mögliche Empfänger über interne Weiterleitungstabelle.
- Eine **Source Routing Bridge** besitzt keine Weiterleitungstabelle, Sender muss die Informationen zur Weiterleitung zum Ziel bereitstellen.
- Wenn der Empfänger nicht in dieser Tabelle eingetragen ist und das Zielnetz nicht bekannt ist – nur dann muss an alle Teilnetze gesendet werden.
- Ein **Broadcast** wird stets in alle Teilnetze übertragen.

Router (Netzwerk)



Router in Worten



- Netzwerkkomponente, die Rechnernetze auf Basis von Layer-3-Informationen koppelt**
- **Default-Route** wird für alle Ziele benutzt, die über keinen besser passenden Eintrag in der Routingtabelle verfügen
 - **Policy Based Routing** auf Basis des gewünschten Ziel-Netzes (Layer-3), + berücksichtigt gewünschten Dienst (Default Route für Web (HTTP) anders als die Default-Route für Mail (SMTP).)
 - Für nicht routbare Protokolle **Bridge**. Am Router endet Kollisions- als auch Broadcastdomäne. Für Broadcast-basierte Dienste wie DHCP **Relay Agent**. Sorgt dafür, dass Broadcasts über Router hinweg ausgebreitet werden.
 - **Ein- und Mehrprotokoll-Router** (auch Multiprotokoll-Router) zu unterscheiden.
 - Einprotokoll-Router - nur IP., + TCP/IP-Router, andere werden gekapselt: (NetBios, IPX).
 - Unterscheidung zwischen *gerouteten Protokollen* (z. B. IP oder IPX) und *Routing-Protokollen*.
 - **Routing-Protokolle** verwalten den Routing-Vorgang und der Kommunikation zwischen den Routern, die z. B. ihre Routing-Tabellen austauschen (z. B. RIP oder OSPF).
- **Geroutete Protokolle** sind für Routenauswahl und Datenversand zuständig

Switch vs. Bridge? Wikipedia



- Switches = Weiterentwicklung der Bridging-Technologie.
Bessere Durchsatzleistung, **höhere** Port-Dichte, geringere Kosten pro Port, größere Flexibilität
- Switches als Ersatz von Bridges, Hubs und zum großen Teil auch von Routern
 - Switches arbeiten als transparente Bridges, haben höhere Durchsatzleistung und mehr Ports. Moderne Switches auch häufig mit einer Layer 3 Instance, einem einfachen Router, ausgestattet werden.
 - Zur Verkleinerung der Kollisionsdomäne erhält ein Switch möglichst viele Ports, an die im Idealfall ein Gerät angeschlossen wird.
 - Zusätzlich stellen sogenannte Uplink-Ports Verbindungen zum nächsten Switch bzw. Router her. Uplink-Ports in einer schnelleren oder höherwertigen (Ethernet-) Technologie realisiert als andere Ports (z.B. Gigabit-Ethernet statt Fast-Ethernet oder Glasfaserkabel).
 - Im Gegensatz zu Bridges können Switches mehrere Pakete zeitgleich zwischen verschiedenen Portpaaren übertragen.
 - **A switch is a multiport bridge (ein Switch ist eine Mehrport-Bridge).**
 - Bridges und Switches verbinden Netzwerke mit verschiedenen Übertragungsgeschwindigkeiten. Bridges können meist sowohl auf MAC als auch auf LLC Basis arbeiten, Switches hingegen arbeiten auf MAC-Basis.
 - Bridges sind wegen Switches mittlerweile Nischenprodukte.

22

Moderne Switches



- lassen die Unterschiede Bridge/Router verblassen!!!
(bitte Wikipedia studieren und mit alten Büchern vergleichen)
- Bei größeren Switches (oder leistungsstarken Bridges) kann für jedes verbundene Netzwerk-Segment eine bestimmte Bandbreite festgelegt werden, können bestimmte Dienste priorisiert werden (FlowControl).
 - Moderne Switches unterstützen Protokolle und Verfahren (z.B. Discovery-Protokolle, VLANs, vMANS, QoS, *Layer 3 Instance* mit diversen Routing-Protokollen, Management-Protokolle (SNMP, RMON, Syslog), Infrastruktur-Protokolle (DHCP-Server, BOOTP/TFTP-Server, (S)FTP-Server, SSH-Server),
 - Sonderbehandlung für spezielle Protokolle (DHCP und BOOTP Relay-Agent), Sicherheits-Features (Layer 2 bis 4 ACLs, Gratuitous ARP Protection, DHCP-Enforcement, MAC-Lockdown, Broadcasting-Kontrolle, Ingress-Filter), Redundanz-Protokolle (VRRP), usw.).
 - **Dabei verschwimmen auch die Unterschiede zu Routern immer mehr.**

23

LAN Technologien

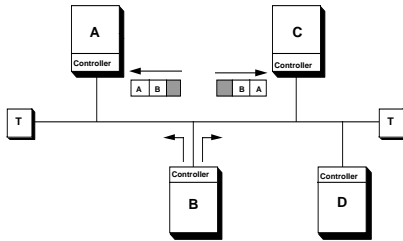


- Ethernet (OSI Schicht 1 und 2)
- 10 MBit/s Übertragungsbandbreite auf Schicht 1, Manchester Code
 - Datenübertragung im Paket (64 Byte ... 1.500 Byte)
 - Präambel vor jedem Paket
 - Zugriffsverfahren CSMA/CD (Trägererkennung mit Vielfachzugriff und Kollisionserkennung
 - Bussystem
 - Kollisionserkennung: Spannung, Paketgröße
 - max. Anzahl von Stationen 1024
 - max. Entfernung zwischen 2 Stationen 2,8 km (ohne Bridge)
 - optimale Netzlast kleiner 5%

24

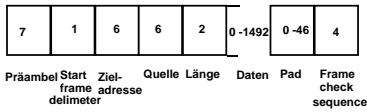


Funktionsprinzip





• Paketstruktur





• Token Ring

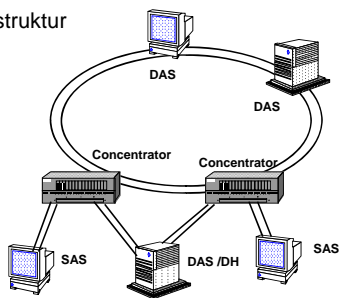
- Ringtopologie
- Zugriffsmethode Token Passing
- Transportmedien STP, Koaxkabel
- 4 / 16 MBit/s
- Ausdehnung: einige km
- deterministischer Zugriff

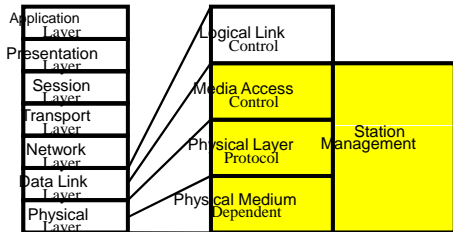


FDDI

- Topologie Dual Ring
- Zugriff: Timed Token Passing, timergesteuert
- Transportmedien LWL, STP, UTP
- Übertragungsrate 1 0 0 Mbit/sec
- max. Paketgröße 4 5 0 0 Byte
- max. Entfernung zwischen 2 Stationen 100 km
- max. Anzahl von Stationen 500
- asynchrone und synchrone Übertragung

Netzstruktur





FDDI
FDDI Struktur



Timed Token Protocol

- zwei Dienstgütern (Quality of Service - QoS) :
- **synchrone Übertragung:** mit garantierter Bandbreite und Antwortzeit (für Echtzeitanwendungen bei hoher Netzauslastung)

Problem: Bandbreitenreservierung im FDDI

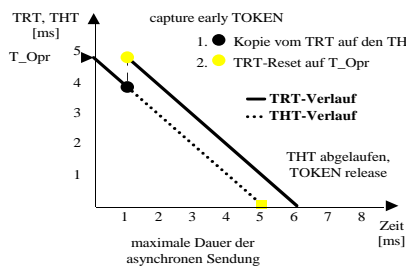
- **asynchrone Übertragung:** mit dynamischer Bandbreitenzuweisung (für weniger zeitkritische Anwendungen)



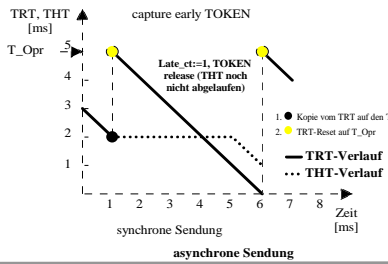
Das Timed Token Protocol

- Senderechtvergabe: durch ein rotierendes TOKEN
- Erreicht das TOKEN eine MAC, darf die MAC eine *bestimmte* Zeit senden.
- (abhängig von der Netzlast und von den Typen - synchron oder asynchron - der vorrätigen zu sendenden Frames)
- Hat eine MAC auf Übertragung wartende Frames und darf (entsprechend später erklärter Timing-Regeln) senden, so entfernt diese Station das TOKEN vom Ring und sendet Frames.
- unmittelbar nach Sendeende: Station generiert ein neues TOKEN und sendet es (*early token release*)
- bei TOKEN-Empfang und keinem Sendewunsch: TOKEN wird zur nächsten Station weitergesendet

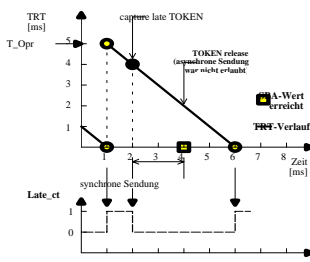
Asynchroner Sendewunsch bei "early TOKEN"



Asynchroner und Synchroner Sendewunsch bei "early TOKEN"



Asynchroner und Synchroner Sendewunsch bei "late TOKEN"



- semiformale Spezifikation
- logischer und physikalischer Ring
- Connection Rules (A, B, M, S)
- Schnittstelle zum Systemmanagement über die MIB-Definition
- SMT-Frame Formate und Protokolle
- Connection - Configuration -Ring Management



LAN Technologien Fast Ethernet

Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste



- 100 Base T (3Com, Synoptics, Intel)
 - 100 MBit/s, 100 m zwischen HUB und Station
 - 125 MHz MLT-3 Code UTP5, 2 Paare oder 25 MHz 4 Paare UTP 3-5
 - Zugriffsverfahren wie Ethernet
- 100 Base VG (HP, AT&T)
 - 100 MBit/s, 100 m
 - 4 Paare UTP 3
 - Zugriffsverfahren über HUB-Verwaltung (Round Robin)
 - 100 Base VG AnyLAN auch für Ethernet und Token Ring

Universität Potsdam Institut für Informatik



LAN Technologien Fast Ethernet

Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste



- 100 Base T (IEEE 802.3u)
- 100BASE-T funktioniert wie CSMA/CD
- Options: 2 Standards Twisted Pair, 1 x LWL 100BASE-TX unterstützt 2-pair Category 5 UTP oder Type 1 STP,
- 100BASE-T4 uses 4-pair Category 3 oder 4
- 100BASE-FX LWL duplex Verbindung

Universität Potsdam Institut für Informatik

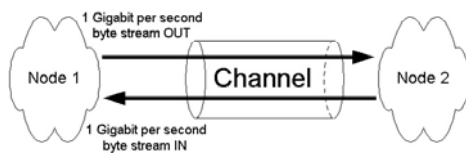


LAN Technologien Gigabit-Ethernet 1

Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste



- 1000Base-T --> duplex 1000 Mbit/s zwischen 2 Knoten

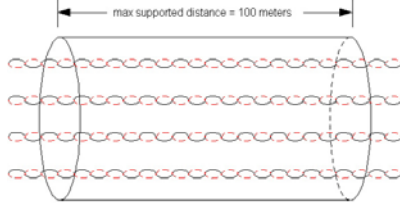


Universität Potsdam Institut für Informatik

LAN Technologien Gigabit-Ethernet 2



- 1000Base-T basierend auf CAT-5 Kabel
- bit error rate (BER) of $\leq 10^{-10}$
(Aller 8ns wird ein Byte gesendet, d.h. aller 10s ein Bitfehler)

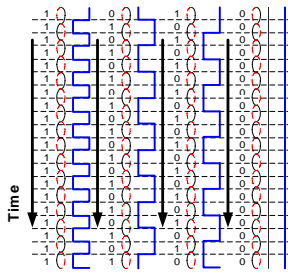


Category 5 4-pair Balanced Cable

LAN Technologien Gigabit-Ethernet 3



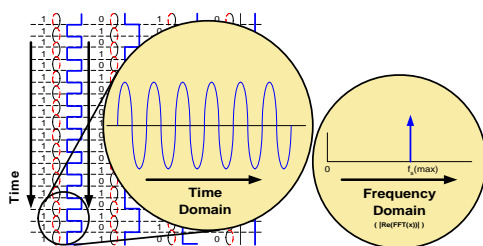
- 1000Base-T Scrambling - Ausgangssignal



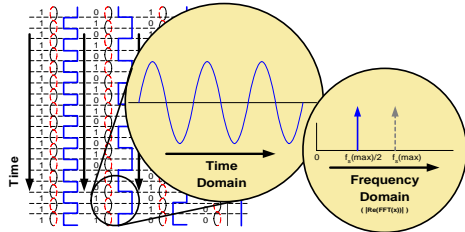
LAN Technologien Gigabit-Ethernet 4



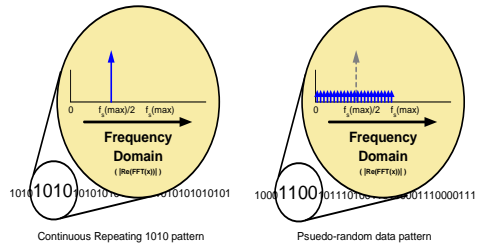
- 1000Base-T Scrambling - Ausgangssignal

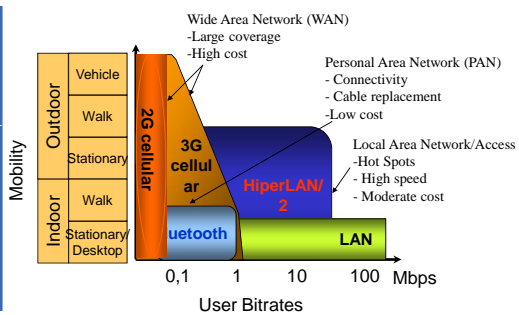


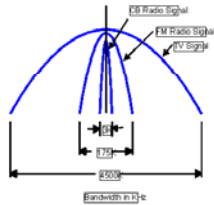
- 1000Base-T Scrambling - Ausgangssignal



- 1000Base-T Scrambling - Spread Spectrum



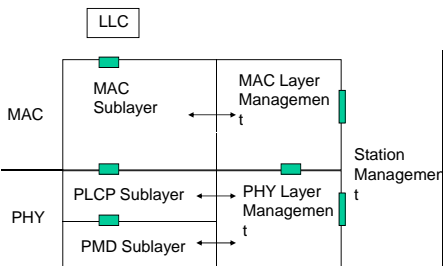


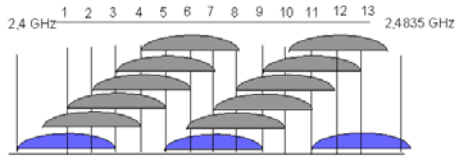


MEHR
INFORMATIONEN
benötigen eine
GRÖßERE
BANDBREITE
(z.B. Breitband-
Technik)



IEEE 802.11	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a
2.4GHz ISM	2.4GHz ISM	5GHz(UNI Band)
DS/FH SS	DS SS	OFDM
2Mbps	11Mbps	54Mbps
IR(Infra-Red).		





- max. 13 Kanäle, jeweils 22 MHz breit
- 11 "chips per bit": jedes Bit wird 11 - mal gesendet
- 2 bzw. 11 Mbit/s maximale Datenrate
- 3 überlappungsfreie Kanäle
- 3 Access Points parallel betreibbar

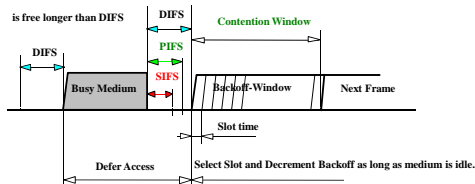


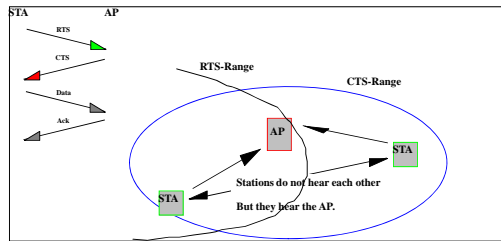
PHY:

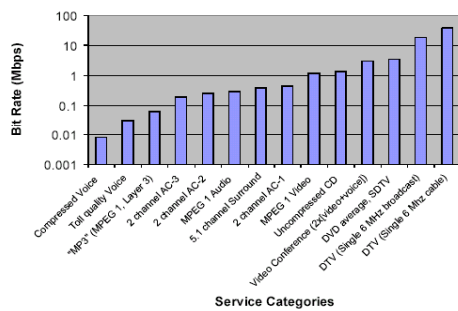
PHY_DATA transfers (multiple rates)
Clear Channel Assessment (CCA) carrier sense
PHY Management, channel tuning

MAC:

Asynchronous MSDU Data Delivery LLC (2304 octet maximum)
Time Bounded Services: Coordination Funktion
Security Services: Confidentiality, Authentication, Access Control
Management Services: Scanning, Joining, Power Management
CSMA: MAC-level Acknowledgment RTS/CTS Exchanges, hidden Node Protection, MSDU Fragmentation







Service	Payload Rate (Mbps)	Latency (ms)	Jitter (ms)	PER
High Quality Voice × 2 streams	0.064	10	±5	10 ⁻³
Medium Quality Voice × 2 streams	0.008	30	±20	10 ⁻³
Video Conference	1.5 × 2 streams	10	±5	10 ⁻⁵
HDTV	19.68	90	±10	10 ⁻⁵
SDTV	3	90	±10	10 ⁻⁵
CD Quality Audio	0.256	100	±10	10 ⁻⁵
High Speed Data	10	>100	>100	0
Medium Speed Data	2	>100	>100	0
Low Speed Data	0.5	>100	>100	0



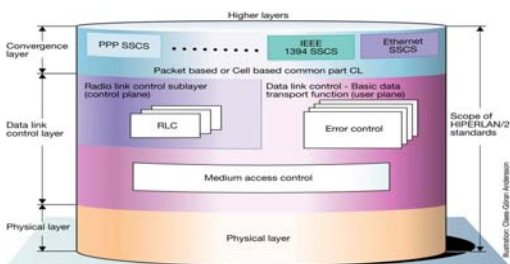
HIPERLAN (High Performance Radio LAN)


Anforderungen an HIPERLAN/2:

- Flexible Anpassung an unterschiedliche Kernnetz-Technologien
- Bereitstellung von QoS für Real-Time Dienste (VoIP, audio/video streams)
- Sicherstellung der Interoperabilität durch die Definition von Test Spezifikationen
- Keine Frequenzplanung nötig
- Fähigkeit sich an unterschiedliche Interferenz- und Ausbreitungs-situationen anzupassen
- Verwendbar in unterschiedlichen Umgebungen (Office, Home, Public)
- Für Indoor und Outdoor Umgebungen geeignet




Frequenzbereiche in Europa (licenced exempt use):
 5.150 - 5.350 GHz, max. Sendeleistung: 200 mW EIRP
 5.470 - 5.725 GHz, max. Sendeleistung: 1W EIRP
 Kanalraster: 20 MHz (19 Kanäle)
 Übertragungsverfahren: OFDM (mit link adaptation)
 Dynamic Frequency Selection
 Power Control
 Central resource control TDMA/TDD → QoS-Unterstützung durch „connection oriented“ MAC
 Skalierbare Fehlerverarbeitungs- und Security-Mechanismen
 Netzwerkschnittstellen: ATM, Ethernet, IEEE1394, UMTS und IP
 Weitgehende Harmonisierung des Physical Layers mit IEEE802.11a und dem japanischen MMAC-System




WLAN Technologien
Hiperlan II Prinzip

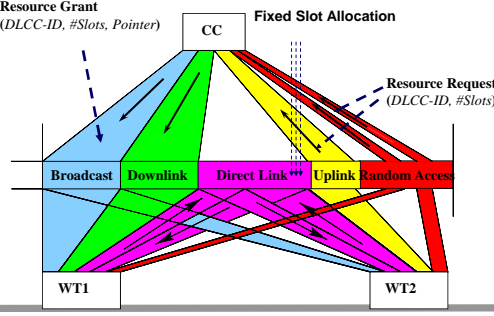
Netzwerktechnologien
 und multimediale
 Teledienste



Resource Grant
(DLCC-ID, #Slots, Pointer)


Fixed Slot Allocation

Resource Request
(DLCC-ID, #Slots)




Universität
 Potsdam
 Institut für
 Informatik

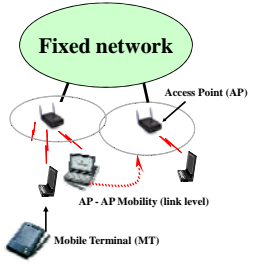
58


WLAN Technologien
Hiperlan II Anwendungen

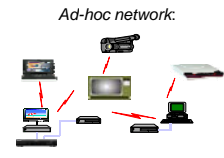
Netzwerktechnologien
 und multimediale
 Teledienste



Infrastructure based network.




Ad-hoc network:




Universität
 Potsdam
 Institut für
 Informatik

59


WLAN Technologien
Hiperlan II vs. 802.11a

Netzwerktechnologien
 und multimediale
 Teledienste



HIPERLAN/2:
 5 GHz generalised Wireless System
 Transmission of small packets
 Segmentation and Reassembly
 Inherent QoS support (RR&RG, FCA, FSA)
 No compromise of QoS in ad hoc mode
 Complex DLC protocol

IEEE 802.11a
 5 GHz „Wireless Ethernet“
 Transmission of Ethernet packets
 Insufficient means to support QoS
 Only CSMA in ad hoc mode
 Simple DLC protocol

Universität
 Potsdam
 Institut für
 Informatik

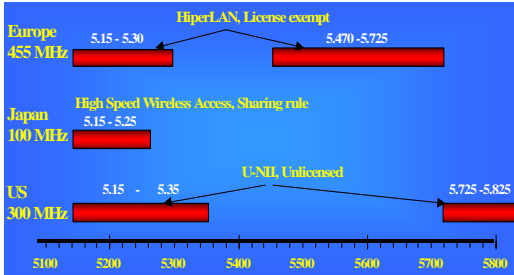
60

WLAN Technologien Hiperlan II vs. 802.11



Characteristics	802.11a	802.11b	HIPERLAN2
Modulation	OFDM	DSSS	OFDM
Carrier Frequency	5GHz	2.4GHz	5GHz
MAC protocol	CSMA/CA	CSMA/CA	TDMA/TDD
Max. Physical Rate	54Mb/s	11Mb/s	54Mb/s
Max. Data Rate	32Mb/s	5Mb/s	32Mb/s
Network Support	Ethernet	Ethernet	Ethernet, IP, ATM
Multicast	Support	Support	Support

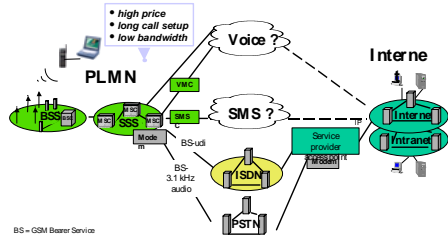
WLAN Technologien Spektrum 5 GHz



Drahtlose Systeme - GPRS

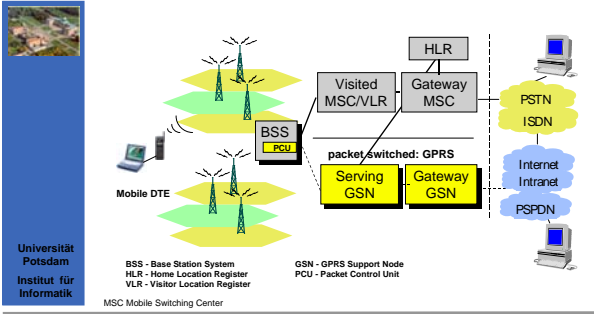


- Basis GSM --- Ausgangssituation
(PLMN Public Land Mobile Network, SSS Switching Subsystem)



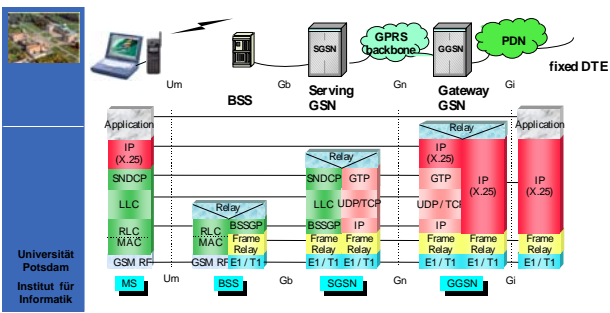
Drahtlose Systeme - GPRS

Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste



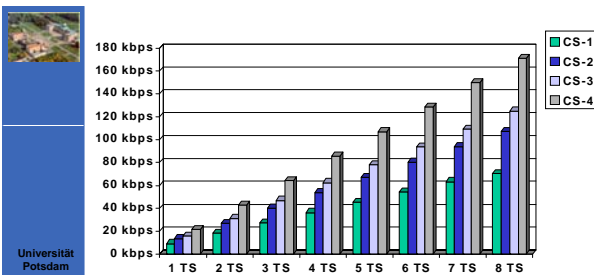
Drahtlose Systeme - GPRS Protokolle

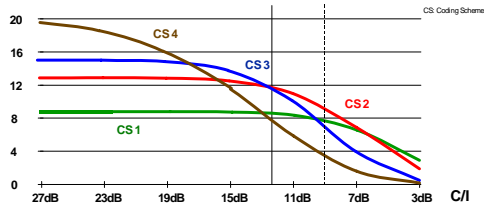
Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste



Drahtlose Systeme - GPRS Coding

Netzwerktechnologien und multimediale Teledienste





Schlussfolgerung: CS2 optimal (Mittel)



- Klasse A
 - nur Datendienste
- Klasse B
 - nur ein Dienst (Sprache/Daten) zu einer Zeit
 - Signalisierungsinformationen jederzeit
- Klasse C
 - volles Dienstspektrum jederzeit parallel



- Evolution von GPRS (Version 4)
- UTRAN und ERAN
- Packet Transport mit IP Protokoll
- IP Client enabled Terminals
- Sprache, Daten, real time Multimedia, mit gleichen Netzelementen





Interworking

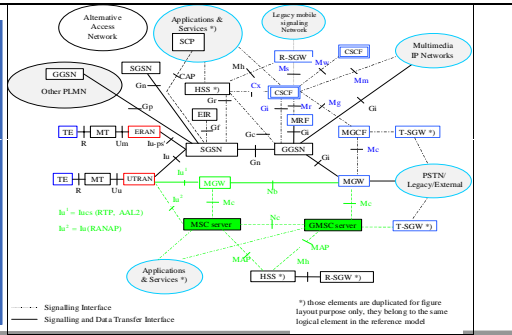
The All-IP core network shall support interworking to external IP and non-IP networks (e.g. circuit-switched networks (PSTN, ISDN, GSM PLMN, UMTS PLMN,...)).

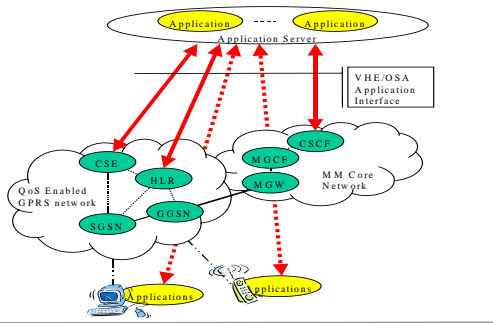
Mobility management

Roaming

The standard shall enable the All-IP core network to support roaming with 2G GSM/GPRS networks and R99 UMTS networks.

Handover







• Was ist allgemein System - QoS?

- Service Support
- Dienstzuverlässigkeit
- Zugriffsverfügbarkeit
- Service-Sicherheit
- Netzperformance



• Mobilitäts-Performance (QoS)

- time for network access, (time to attach)
- time to invoke service (Service access, get alerting, ringing indication),
- time to change service profile
- seamless service retainability when roaming
- Time to receive service quality information

• Datenkommunikation

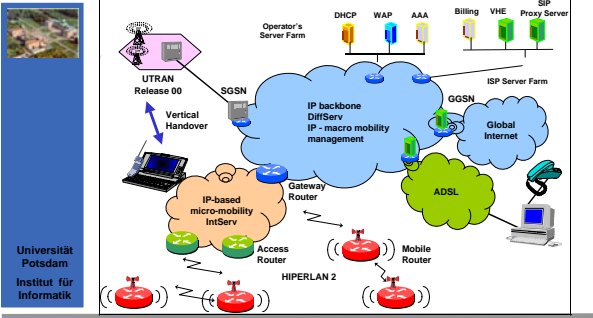
- delay (round trip);
- duration (of data transfer);
- throughput;
- percentage of transmission errors.



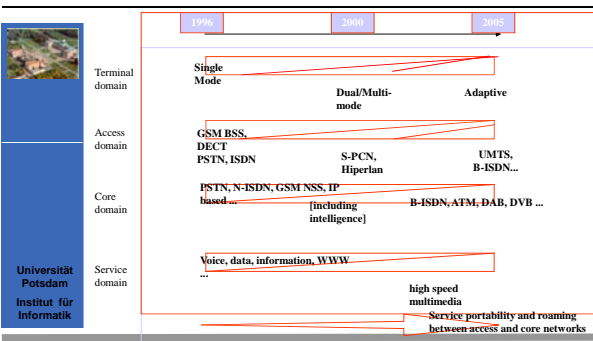
User Perspective	Mean	95%
Time for network access	5 s ≤ 2 s	10 s ≤ 10 s
- automatic	5 s	2 s
- manual	2 s	5 s
Time to invoke service		5 s
Time to change Service Profile	100 %	
Answer/connect time		
- when called party accepts the call	< 100 ms, see Note 1	< 200 ms, see Note 1
Release time	< 100 ms, see Note 1	< 200 ms, see Note 1
Interruption of services	0	0
Probability of	Probability value	Note
Premature disconnection	0.005	No disconnection desired even if temporary loss of network coverage

NOTE 1: < 0.5 seconds is the target in the satellite environment

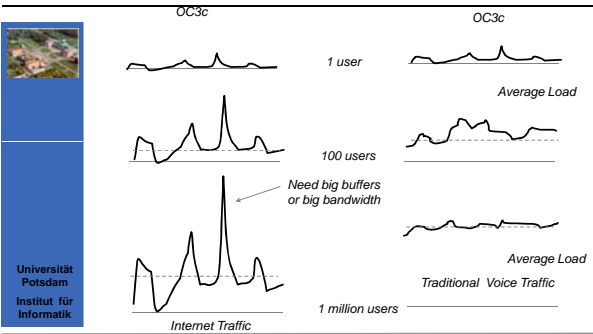
4. Generation Mobilfunk Ausblick



Ausblick Entwicklung Systemkomponenten



Ausblick Lastentwicklung im Netz





Literatur / Quellen

Netzwerktechnologien
und multimediale
Teledienste



Universität
Potsdam
Institut für
Informatik

1. <http://www.braintec-consult.de/expo96>
2. http://www.gigabit-ethernet.org/technology/whitepapers/gige_97/papers97_toc.html#toc
3. <http://www.brill.de/insem00.htm>
4. <http://www.uni-duisburg.de/FB5/BWL/WI/RuB/fohlen/tsld001.htm>
5. <http://www-is.informatik.uni-oldenburg.de/~dibo/teaching/mm98/buch/node86.html>
6. <http://www.rvs.uni-hannover.de/arbeiten/studien/mfromme/node21.html>
7. <http://www.etsi.fr> (UMTS)
8. Siemens GPRS Vortrag, Dr. Gayda
9. Univ. of New Hamp. - 1000Base-T Tutorial, B. Noseworthy
