CoNe Freiburg

IIF INSTITUT FÜR INFORMATIK FREIBURG

Systeme II

6. Die Anwendungsschicht

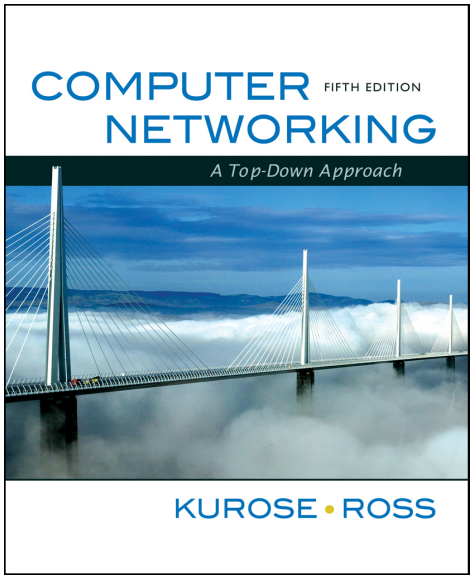
Christian Schindelhauer
Technische Fakultät
Rechnernetze und Telematik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Version 19.06.2013

UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

Folien und Inhalte aus

- Computer Networking: A Top Down Approach 5th edition. Jim Kurose, Keith Ross Addison-Wesley, April 2009.
- Copyright liegt bei den Autoren



UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

Anwendungsschicht
Ziele

- Aspekte der Programmierung im Internet aus der Sicht der Anwendung
- Anforderungen an die Transportschicht
- Client-Server-Prinzip
- Peer-to-Peer-Prinzip
- Beispiel-Protokolle:
  - HTTP
  - SMTP / POP3 / IMAP
  - DNS
- Programmierung von Netzwerk-Anwendungen

CoNe Freiburg

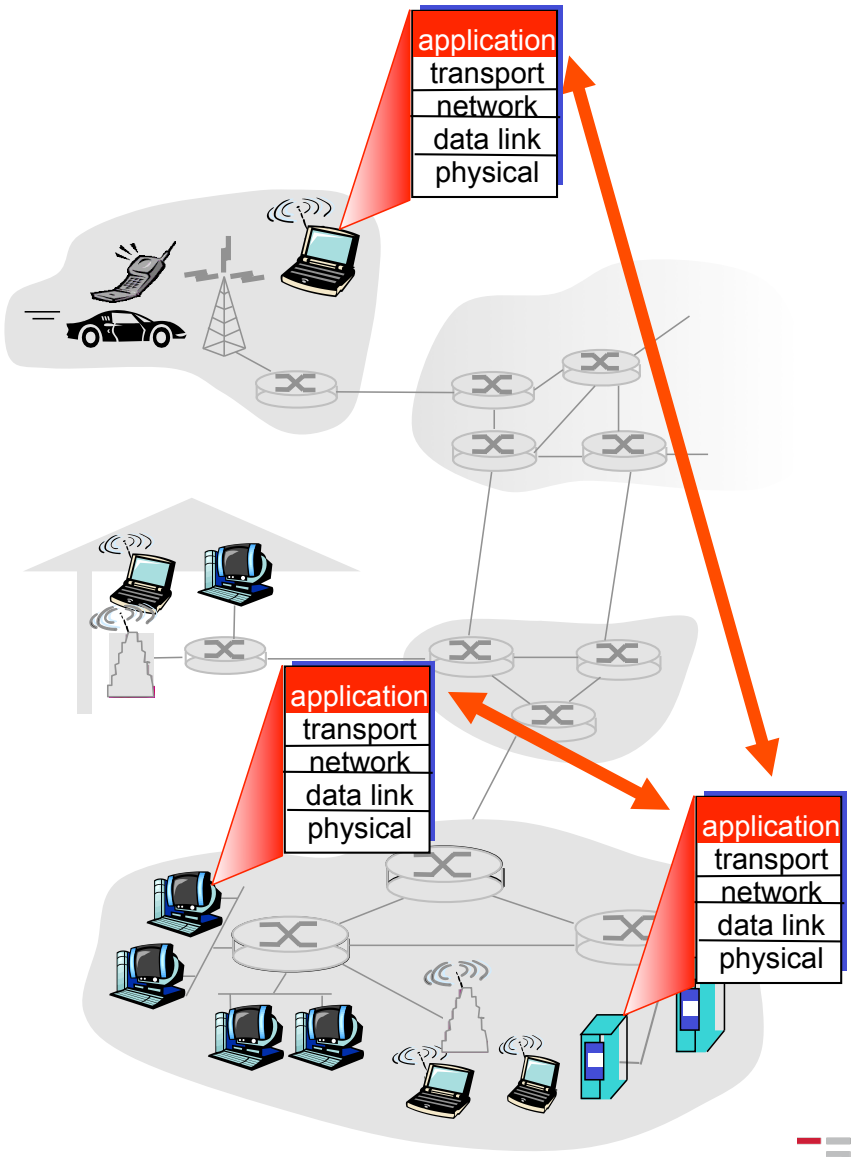
Beispiele Netzwerk-Anwendungen

- E-Mail
- Web
- Instant messaging
- Remote Login
- P2P File Sharing
- Multi-User Network Games
- Video Streaming
- Social Networks
- Voice over IP
- Real-time Video Konferenz
- Grid Computing

CoNe Freiburg

Erstellen einer Netzwerk-Anwendung

- Programme laufen auf den End-Punkten
  - kommunizieren über das Netzwerk
  - z.B. Web-Client kommuniziert durch Browser-Software
- Netzwerk-Router
  - werden nicht programmiert!
  - nicht für den Benutzer verfügbar
- Dadurch schnelle Programm-Entwicklung möglich
  - gleiche Umgebung
  - schnelle Verbreitung



CoNe Freiburg

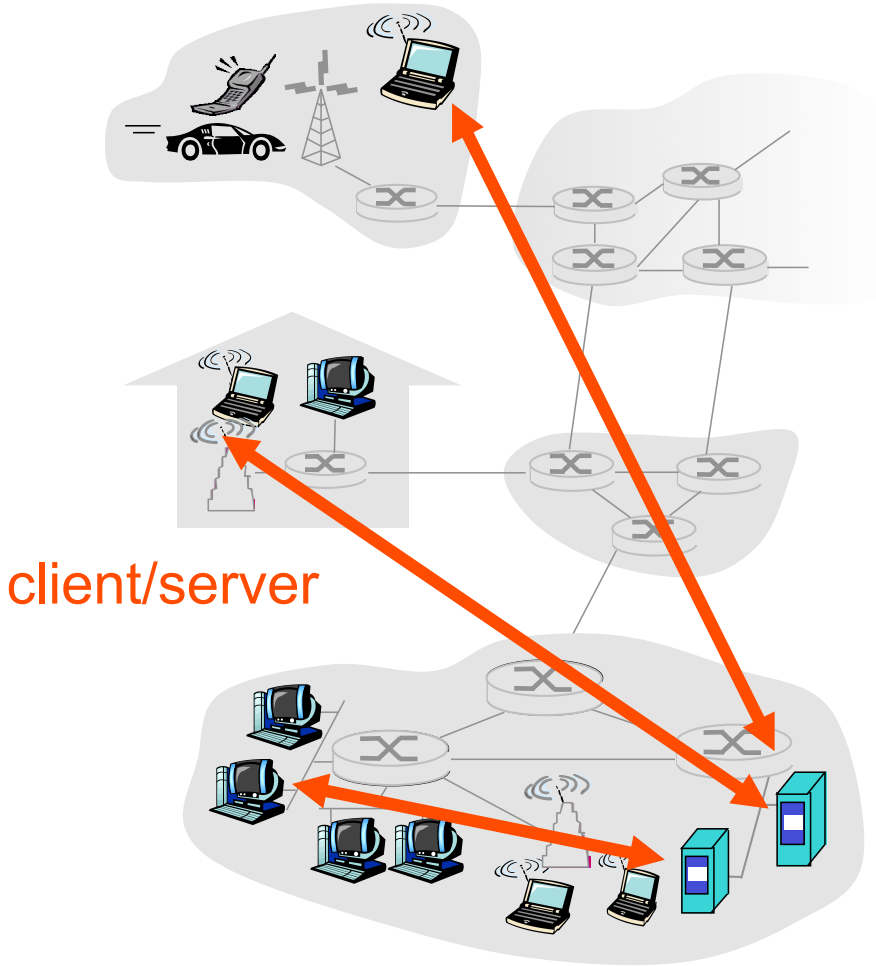
Kommunikationsformen in der Anwendungsschicht

- Client-server
  - beinhaltet auch Data Centers & Cloud Computing
- Peer-to-peer (P2P)
- Hybride Verbindung von Client-Server und P2P

CoNe Freiburg

Client-Server-Architektur

- Server
  - allzeit verfügbarer Host
  - permanente IP-Address
    - oder per DNS ansprechbar
  - Server-Farms wegen Skalierung
- Client
  - kommuniziert mit dem Server
  - möglicherweise nicht durchgängig verbunden
  - evtl. dynamische IP-Adresse
  - Clients kommunizieren **nicht** miteinander



CoNe Freiburg

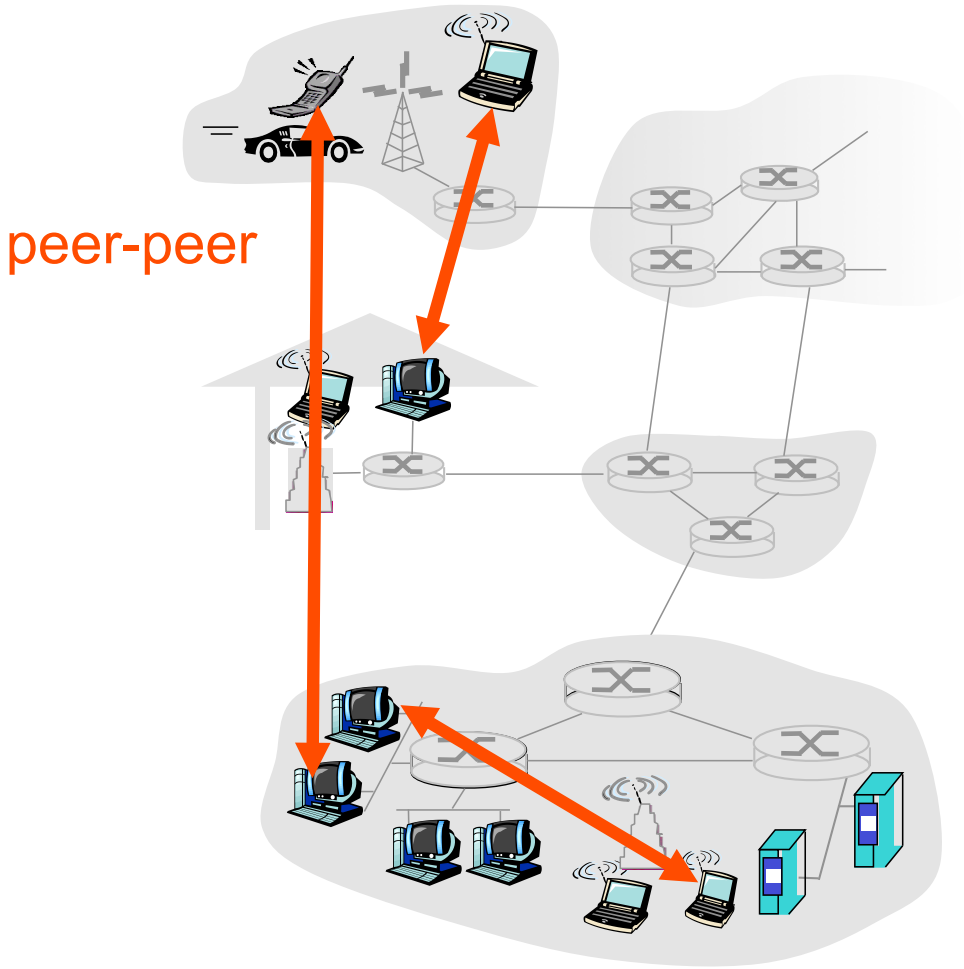
Google Data Centers

- Kosten eines Daten-Centers: 600 Mio US$
- Google investierte 2007 2,4 Mrd. US$ in Daten-Center
- Jedes Daten-Center verbraucht 50-100 MW

CoNe Freiburg

Peer-to-Peer-Architektur

- Ohne Server
- End-Systeme kommunizieren direkt
- Peers
  - sind nur zeitlich begrenzt online
  - verändern von Zeit zu Zeit ihre IP-Adresse
- Hochskalierbar, aber schwer zu handhaben



Hybrid aus Client-Server und Peer-to-Peer

- z.B. Skype
  - Voice-over-IP P2P
  - Server für Anmeldung und Verzeichnis
  - Telefonie und Video-Verbindung Direktverbindung
- Instant Messaging
  - Chat zwischen zwei Benutzern ist P2P
  - Zentraler Service:
    - Client-Anwesenheit
    - Suche und Zuordnung der IP-Adresse
    - Benutzer registrieren die IP-Adresse, sobald online
    - Benutzer fragen beim Server nach IP-Adresse der Partner

CoNe Freiburg

Kommunizierende Prozesse

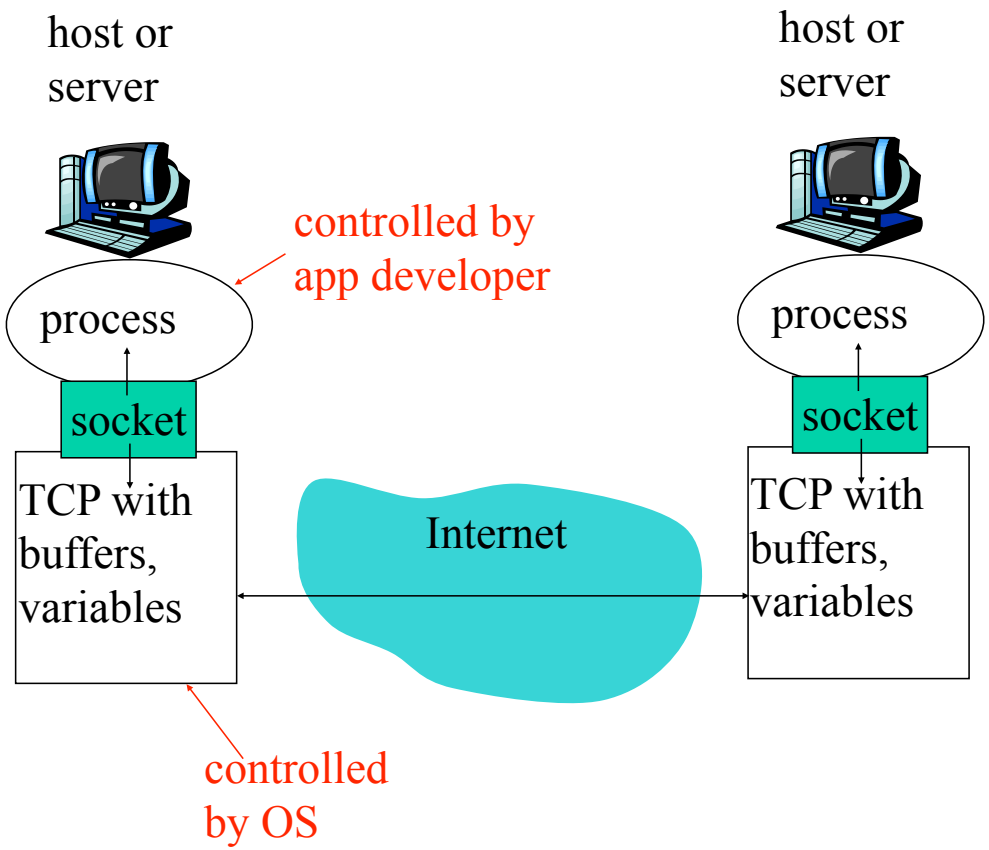
- Prozess: Programm auf einem Rechner (Host)
  - innerhalb des selben Rechners kommunizieren Prozesse durch Inter-Prozess-Kommunikation
    - über OS
- Prozesse in verschiedenen Rechnern
  - kommunizieren durch Nachrichten
- Client-Prozess
  - Initiiert die Kommunikation

Server-Prozess
wartet auf Client-Kontakt

P2P
haben Client und Server-Prozesse

Sockets

- Prozesse senden und empfangen Nachrichten über Sockets (Steckdosen)
- Sockets mit Türen vergleichbar
- Sender-Prozess
  - schiebt die Nachricht zur Tür hinaus
  - vertraut auf die Transport-Infrastruktur, dass die eine Seite der Tür mit der anderen verbindet
- API
  - Wahl des Transport-Protokolls
  - kann bestimmte Parameter wählen



CoNe Freiburg

Anwendungschicht-Programm beschreibt

- Nachrichtentyp
  - z.B. Request, Response
- Nachrichten-Syntax
  - Nachrichtenfelder und Zuordnung
- Nachrichten-Semantik
  - Bedeutung der Felder
- Regeln für das Senden und Empfangen von Nachrichten
- Public-domain Protokolle
  - definiert in RFC
  - für Kompatibilität
  - z.B. HTTP, SMTP, BitTorrent
- Proprietäre Protokolle
  - z.B. Skype, ppstream

CoNe Freiburg

Welchen Transport-Service braucht eine Anwendung?

- Datenverlust
  - einige Anwendungen (z.B. Audio) tolerieren gewissen Verlust
  - andere (z.B. Dateitransfer, Telnet) benötigen 100% verlässlichen Datentransport
- Timing
  - einige Anwendungen (z.B. Internet Telefonie, Spiele) brauchen geringen Delay
- Durchsatz (throughput)
  - einige Anwendungen (z.B. Multimedia) brauchen Mindestdurchsatz
  - andere (“elastische Anwendungen”) passen sich dem Durchsatz an
- Sicherheit
- Verschlüsselung, Datenintegrität

CoNe Freiburg

Web und HTTP

- Web-Seiten (web page) besteht aus Objekten
- Objekte sind HTML-Datei, JPEG-Bild, Java-Applet, Audio-Datei,…
- Web-Seite besteht aus Base HTML-Datei mit einigen referenzierten Objekten
- Jedes Objekt wird durch eine URL adressiert
  - Beispiel URL:

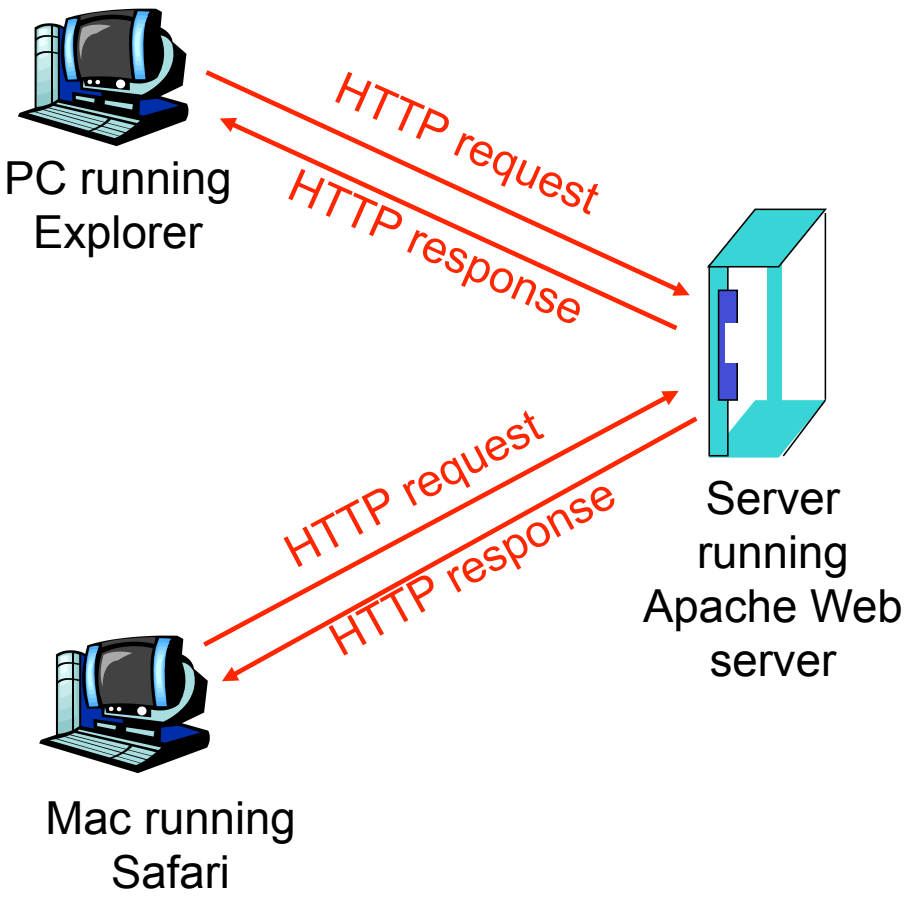
www.someschool.edu/someDept/pic.gif

host name | path name

CoNe Freiburg

HTTP-Überblick

- HTTP: Hypertext Transfer Protocol
  - Anwendungsschicht-Protokoll des Webs
- Client/Server-Modell
  - Client
    - Browser fragt an
    - erhält und zeigt Web-Objekte an
  - Server
    - Web-Server sendet Objekte als Antwort der Anfrage



Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross

UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

HTTP-Überblick

- Verwendet TCP
- Client initiiert TCP-Verbindung
  - erzeugt Socket zum Server auf Port 80
- Server akzeptiert TCP-Verbindung vom Client
- HTTP-Nachrichten
  - zwischen HTTP-Client und HTTP-Server
  - Anwendungsschicht-Protokoll-Nachrichten
- TCP-Verbindung wird geschlossen

CoNe Freiburg

HTTP-Überblick

- HTTP ist zustandslos (stateless)
  - Server merkt sich nichts über vorige Anfragen
- Warum?
  - Protokolle mit Zuständen sind komplex
  - Zustände müssen gemerkt und zugeordnet werden
  - falls Server oder Client abstürzen, müssen die möglicherweise inkonsistenten Zustände wieder angepasst werden

CoNe Freiburg

HTTP-Verbindungen

- Abbrechende (nicht persistente) HTTP-Verbindung
  - Höchstens ein Objekt wird über eine TCP-Verbindung gesendet
- Weiter bestehende (persistente) HTTP
  - Verschiedene Objekte können über eine bestehende TCP-Verbindung zwischen Client und Server gesendet werden

Nicht-Persistente HTTP-Verbindung

CoNe Freiburg

1a. HTTP-Client initiiert TCP-Verbindung zum HTTP-Server (Prozess) at *www.someSchool.edu* on port 80

1b. HTTP-Server beim host www.someSchool.edu wartet auf eine TCP-Verbindung auf Port 80. Er akzeptiert die Verbindung und informiert den Client

2. HTTP-Client sendet HTTP Request Message (mit URL) zum TCP-Verbindungs-Socket. Die Nachricht zeigt an, dass der Client das Objekt *someDepartment/home.index* will

3. HTTP-Server empfängt die Anfrage-Nachricht und erzeugt eine Response Message mit dem angefragten Objekt und sendet diese Nachricht an seinen Socket

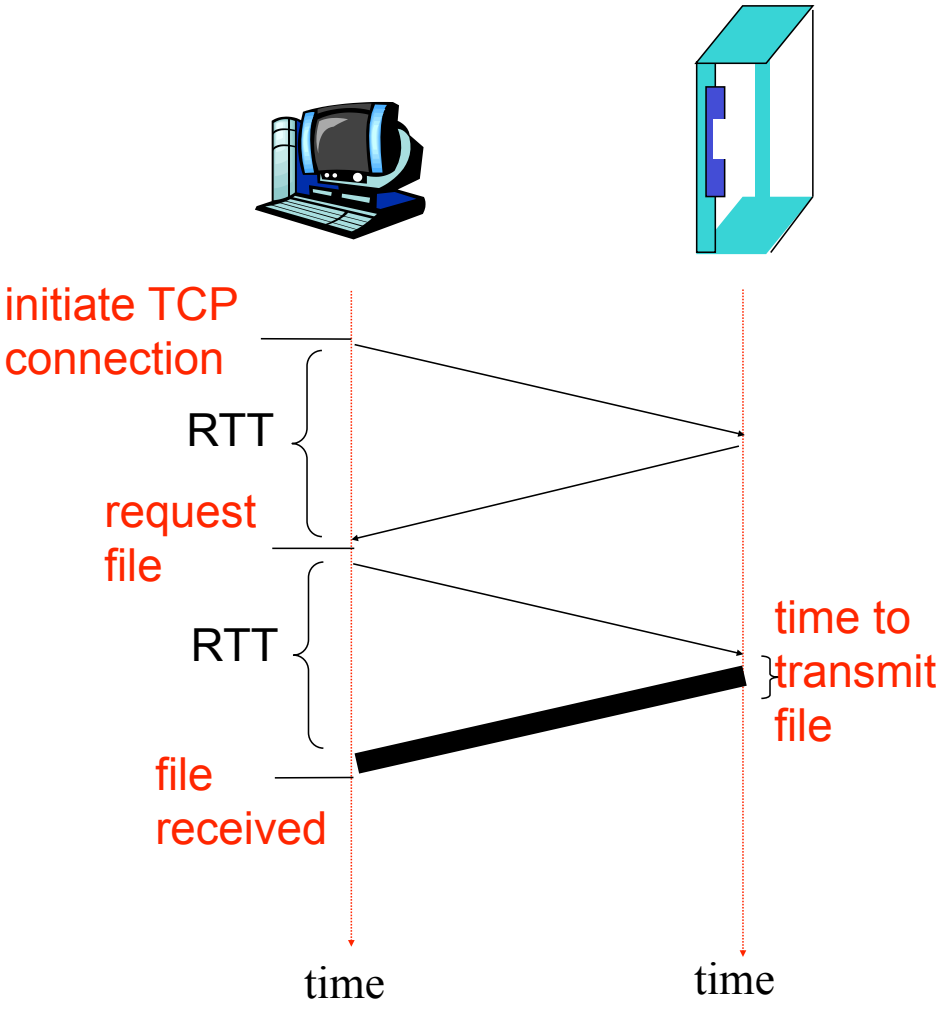
4. HTTP-Server schließt die TCP-Verbindung

5. HTTP-Client erhält die Antwort-Nachricht mit der html-Datei und Zeit des HTML an. Nach dem Parsen der HTML-Datei findet er 10 referenzierte JPEG-Objekte

6. Schritte 1-5 werden für jedes der 10 JPEG-Objekte wiederholt

Nicht-persistentes HTTP: Antwortzeit

- Umlaufzeit (RTT – Round Trip Time)
  - Zeit für ein Packet von Client zum Server und wieder zurück
- Antwortzeit (Response Time)
  - eine RTT um TCP-Verbindung zu initiieren
  - eine RTT für HTTP Anfrage und die ersten Bytes des HTTP-Pakets
  - Transmit Time: Zeit für Dateiübertragung
- Zeit = 2 RTT+ transmit time



CoNe Freiburg

Persistentes HTTP

- Nicht-persistentes HTTP
  - benötigt 2 RTTs pro Objekt
  - Betriebssystem-Overhead für jede TCP-Verbindung
  - Browser öffnet oft TCP-Verbindungen parallel um referenzierte Objekte zu laden
- Persistentes HTTP
  - Server lässt die Verbindung nach der Antwortnachricht offen
  - Folgende HTTP-Nachrichten zwischen den gleichen Client/ Server werden über die geöffnete Verbindung versandt
  - Client sendet Anfragen, sobald es ein referiertes Objekt findet
  - höchstens eine Umlaufzeit (RTT) für alle referenzierten Objekte

CoNe Freiburg

HTTP-Request Nachricht

- Zwei Typen der HTTP-Nachricht: request, response
- HTTP-Request Nachricht:
  - ASCII (human-readable format)

Request Zeile (GET, POST, HEAD Befehle)

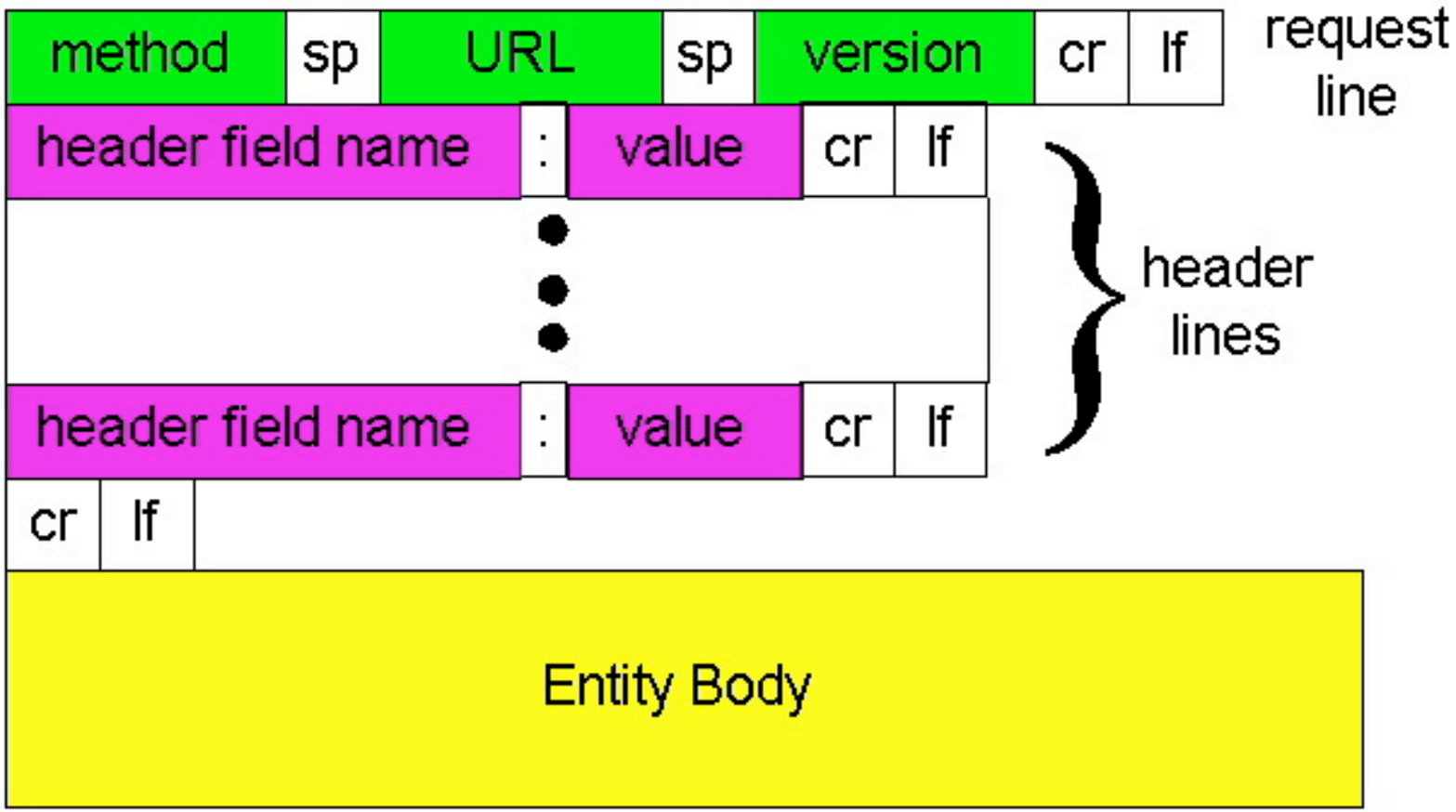
```
GET /somedir/page.html HTTP/1.1
Host: www.someschool.edu
User-agent: Mozilla/4.0
Connection: close
Accept-language:fr

```

Extra Zeilenschaltung zeigt das Ende der Nachricht an

(extra carriage return, line feed)

HTTP-Request Nachricht: Allgemeines Format



CoNe Freiburg

Upload

- Post
  - Web-Seiten haben öfters Leerfelder für Eingaben
  - Eingabe wird im *Body* zum Server hochgeladen
- URL-Methode
  - Verwendet GET-Methode
  - Input wird im URL-Feld der Anfrage-Nachricht gesendet:

```
www.somesite.com/animalsearch?monkeys&banana
```

CoNe Freiburg

Methoden

- HTTP/1.0
  - GET
  - POST
  - HEAD
    - fragt den Server nur nach dem Head, nicht nach dem Inhalt *(body)*
- HTTP/1.1
  - GET, POST, HEAD
  - PUT
    - lädt eine Datei im *body*-Feld zum Pfad hoch, der im URL-Feld spezifiziert wurde
  - DELETE
    - löscht Datei, die im URL-Feld angegeben wurde

HTTP-Antwort Nachricht

Status-Zeile (protocol status code status phrase)

Kopfzeile

Daten, e.g., requested HTML file

```
HTTP/1.1 200 OK
Connection close
Date: Thu, 06 Aug 1998 12:00:15 GMT
Server: Apache/1.3.0 (Unix)
Last-Modified: Mon, 22 Jun 1998 …...
Content-Length: 6821
Content-Type: text/html

data data data data data ...
```

HTTP per Telnet

1. Telnet zum Web-Server

```
telnet cis.poly.edu 80
```

Öffnet TCP Verbindung auf Port 80
(default HTTP Server-Port) von cis.poly.edu.

2. Eingabe einer GET HTTP Anfrage:

```
GET /~ross/ HTTP/1.1
Host: cis.poly.edu
```

Erzeugt einen minimalen
und vollständigen GET-Request
zu einem HTTP-Server

3. Was kommt als Antwort vom HTTP server?

CoNe Freiburg

HTTP Antwort-Status

- In der ersten Zeile der Client-Antwort-Nachricht (client response)
- Beispiele:
  - 200 OK
    - Anfrage wird beantwortet in dieser Nachricht
  - 301 Moved Permanently
    - neue Adresse für Objekt
    - Adresse folgt in der Nachricht
  - 400 Bad Request
    - Anfrage wird nicht verstanden
  - 404 Not Found
    - Angefragtes Dokument nicht vorhanden
  - 505 HTTP Version Not Supported

CoNe Freiburg

Benutzerstatus: Cookies

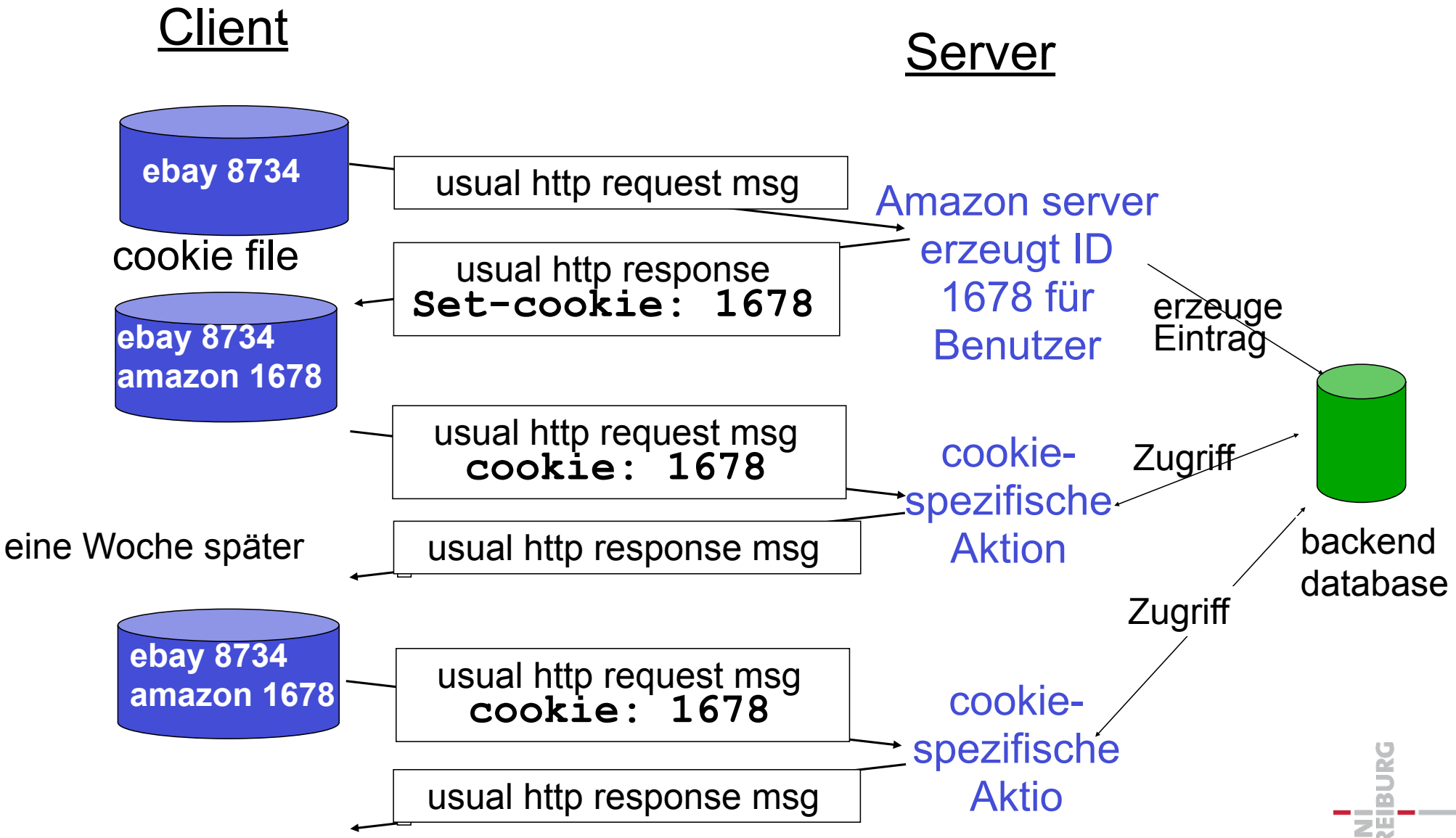
- Viele Web-Sites verwenden Cookies
- Vier Komponenten
  - 1) Cookie Kopf-Zeile der HTTP-Antwort-Nachricht (Response Message)
  - 2) Cookie-Kopf-Zeile in HTTP-Anfrage-Nachricht (Request Message)
  - 3) Cookie-Datei auf dem Benutzer-Rechner
    - wird vom Web-Browser des Benutzers unterhalten
  - 4) Datenbank auf der Web-Site (des Servers)

CoNe Freiburg

Benutzerstatus: Cookies

- Beispiel:
- Susan
  - surft das Web vom PC
  - besucht E-Commerce-Site *Amazon* zum ersten Mal
  - wenn die HTTP-Anfrage die Site erreicht, erzeugt die Web-Site
    - eindeutige ID
    - Eintrag in der Datenbank des Web-Servers

Cookies: Erzeugen einer Status-Information



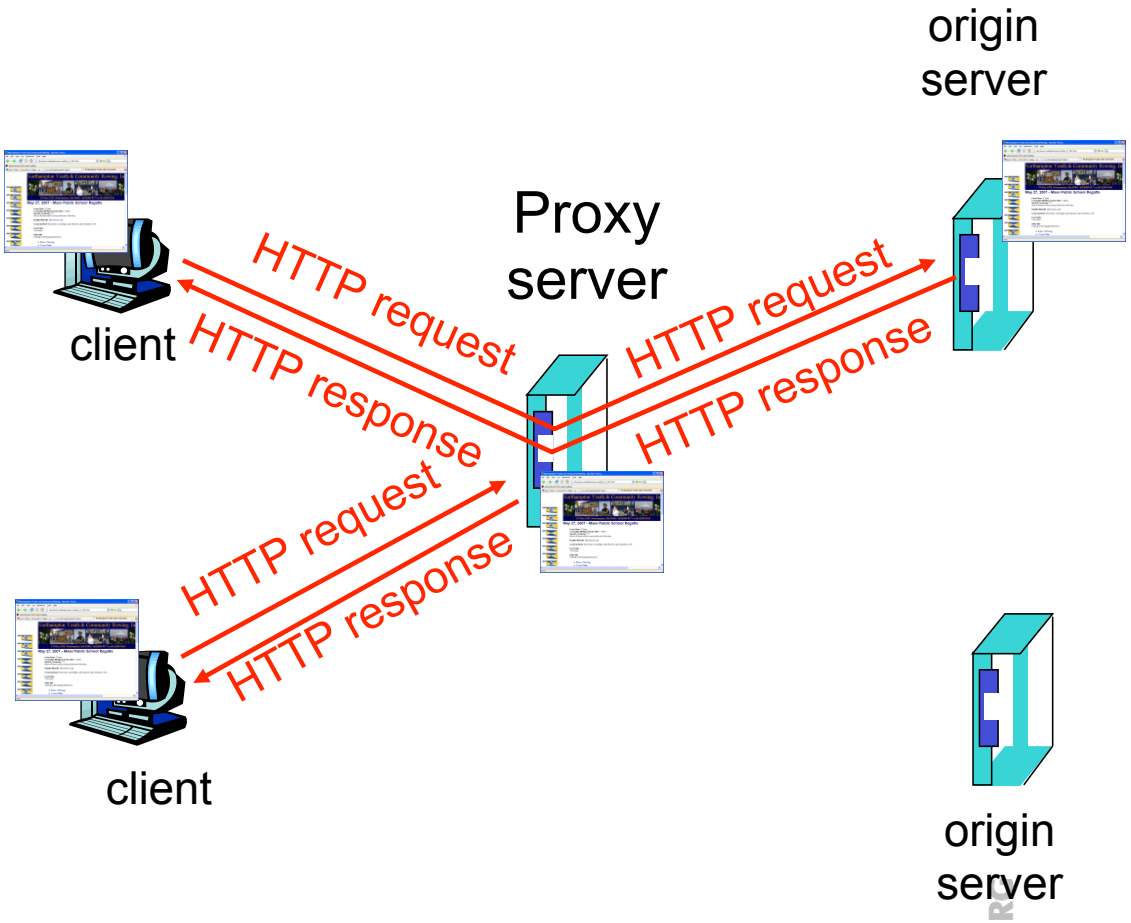
CoNe Freiburg

Cookies

- Cookies erlauben
  - Authentifikation
  - Einkaufswagen
  - Empfehlungen
  - Sitzungs-Status des Benutzers (Web Mail)
- Wie man den Status unterhält
  - speichert Zustand zwischen verschiedenen Transaktionen
  - Cookies: HTTP Nachrichten transportieren den Status
- Cookies und Privatsphäre
  - Cookies übergeben der Web-Site eine Menge von Informationen
  - z.B. Name, E-Mail, Kaufverhalten, etc.

Web Caches (Proxy Server)

- Ziel:
  - Client-Anfragen erfüllen ohne den Original-Server zu verwenden
- Benutzer greift auf das Web per Cache zu
  - Hierfür wird Browser konfiguriert
- Browser sendet alle HTTP-Anfragen zum Cache
  - Ist das Objekt im Cache, dann wird das Objekt geliefert
  - ansonsten liefert der Original-Server an den Proxy-Server
  - dieser liefert dann das Objekt an den Client



Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross

CoNe Freiburg

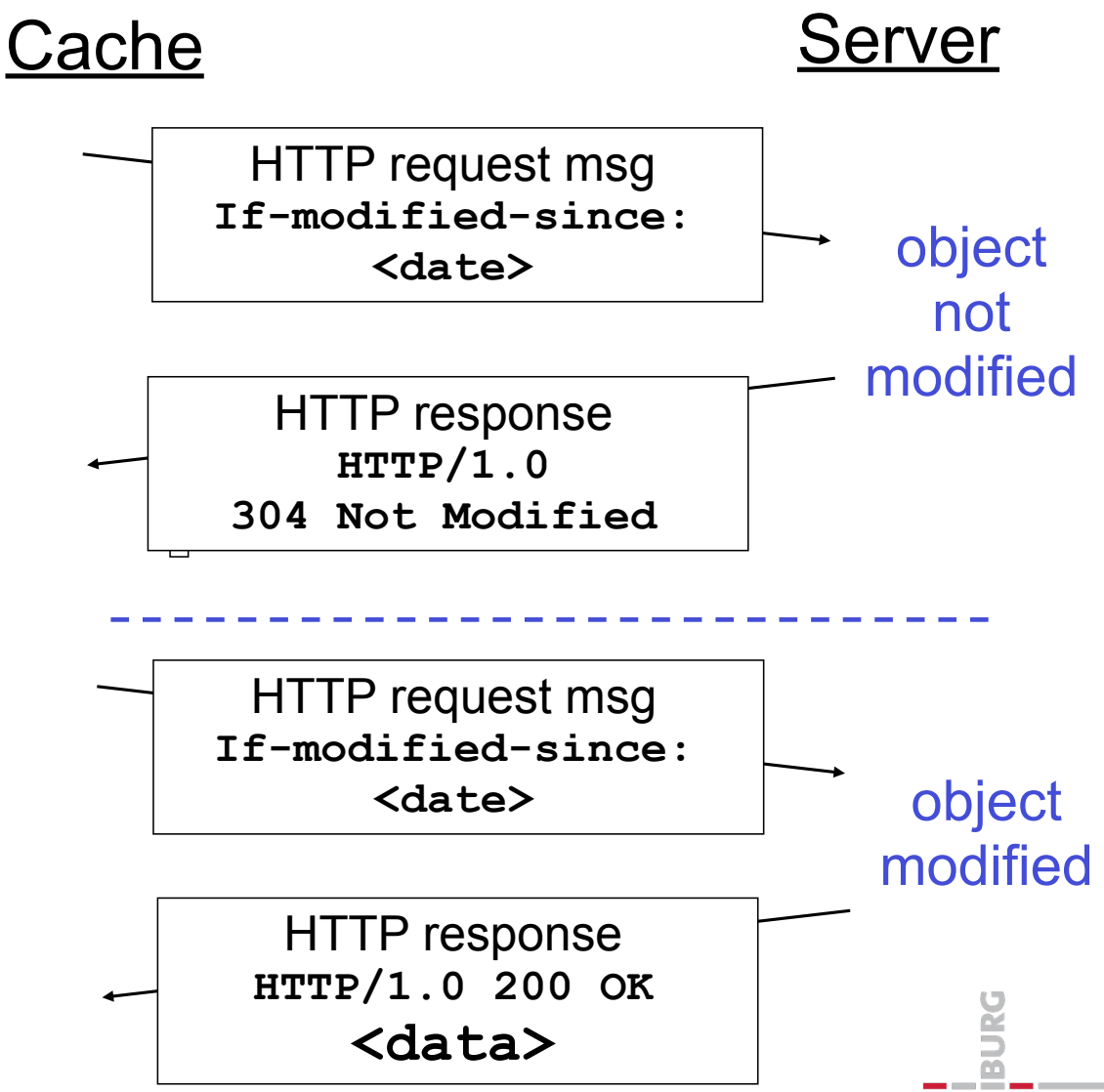
Web-Caching

- Cache fungiert als Client und Server
  - typisch wird der Cache vom ISP (Internet Service Provider) bereit gestellt
- Warum
  - reduziert Antwortzeit für Client-Anfragen
  - reduziert den Verkehr über die Leitungen zu anderen ISPs
  - ermöglicht „kleinen“ Web-Servern effizient Inhalte zu verteilen

CoNe Freiburg

Conditional GET

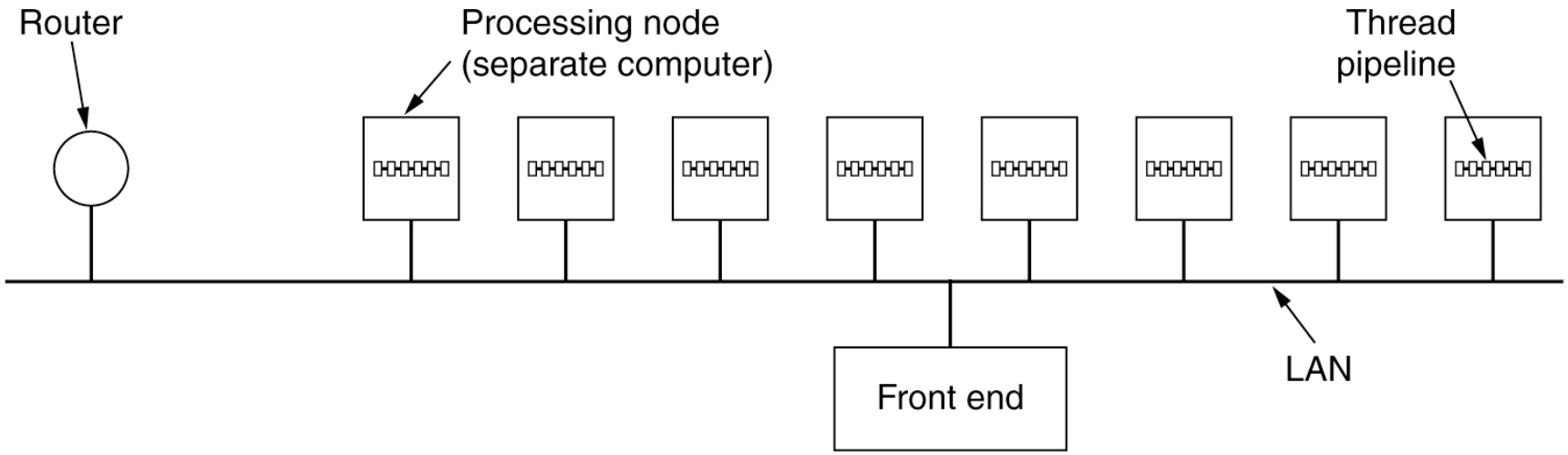
- Ziel: Objekt soll nicht gesendet werden, falls der Cache die aktuelle Version hat
- Cache: gibt den Zeitsempel der gecachten Kopie einer HTTP-Anfrage
  - If-modified-since: <date>
- Server: Antwort enthält kein Objekt, falls, die gecachte Kopie aktuell ist
  - HTTP/1.0 304 Not Modified



CoNe Freiburg

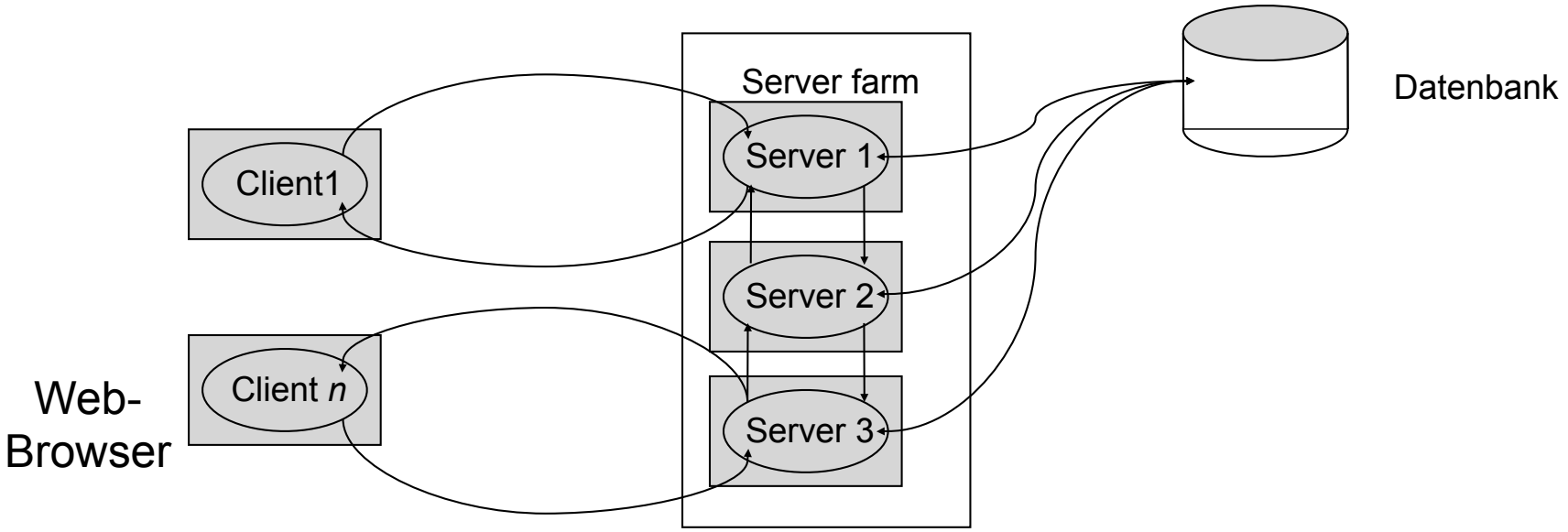
Server-Farm

- Um die Leistungsfähigkeit auf der Server-Seite zu erhöhen
  - wird eine Reihe von Web-Servern eingesetzt
- Front end
  - nimmt Anfragen an
  - reicht sie an separaten Host zur Weiterbearbeitung weiter



Web-Servers und Datenbanken

- Web-Server stellen nicht nur statische Web-Seiten zur Verfügung
  - Web-Seiten werden auch automatisch erzeugt
  - Hierzu wird auf eine Datenbank zurückgegriffen
  - Diese ist nicht statisch und kann durch Interaktionen verändert werden
- Problem:
  - Konsistenz
- Lösung
  - Web-Service und Daten-Bank in einer 3-Stufen-Architektur



CoNe Freiburg

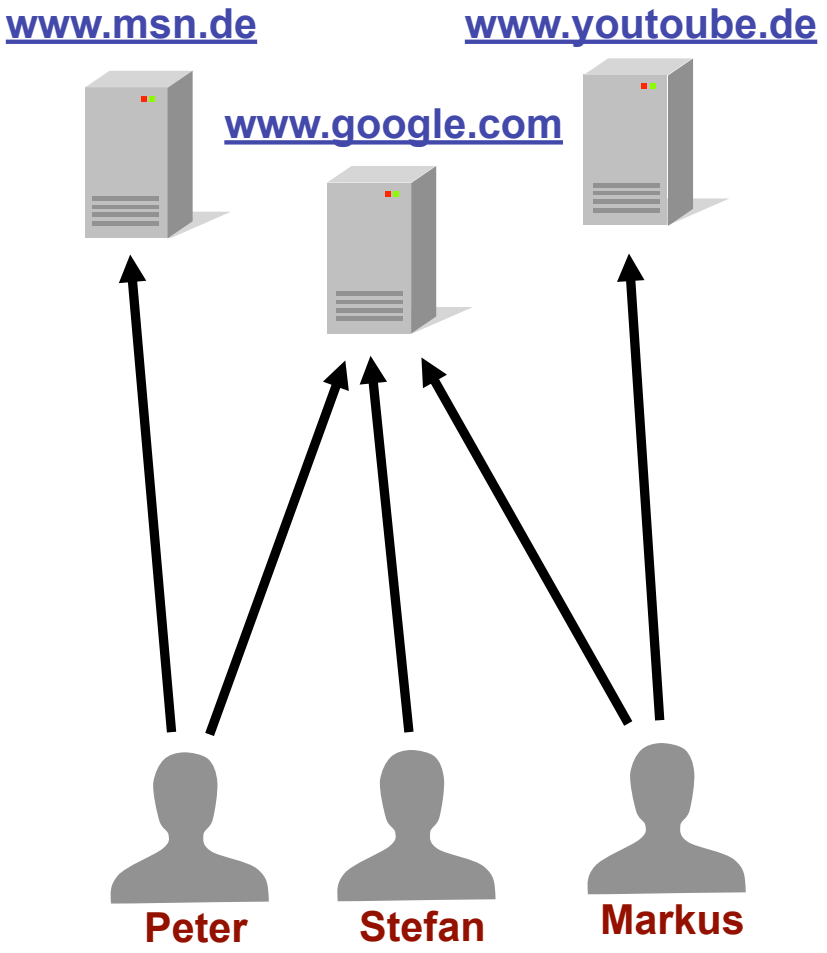
Content Distribution Networks (CDN)

- Eine koordinierte Menge von Caches
  - Die Last großer Web-Sites wird verteilt auf global verteilte Server-Farmen
  - Diese übernehmen Web-Seiten möglichst verschiedener Organisationen
    - z.B. News, Software-Hersteller, Regierungen
  - Beispiele: Akamai, Digital Island
  - Cache-Anfragen werden auf die regional und lastmäßig bestgeeigneten Server umgeleitet
- Beispiel Akamai:
  - Durch verteilte Hash-Tabellen ist die Verteilung effizient und lokal möglich

UNI FREIBURG

WWW-Lastbalancierung

- Für Surfen im Web typisch:
  - Web-Server bieten Web-Seiten an
  - Web-Clients fordern Web-Seiten an
- In der Regel sind diese Mengen disjunkt
- Eingehende Anforderungen belasten Web-Server hinsichtlich:
  - Übertragungsbandbreite
  - Rechenaufwand (Zeit,Speicher)

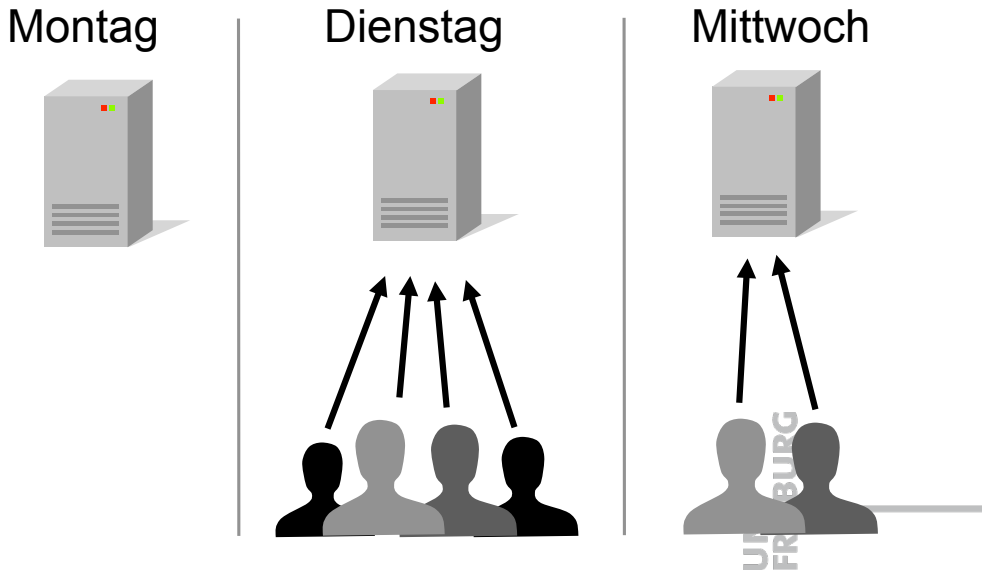


CoNe Freiburg

Lastanforderungen

- Einige Web-Server haben immer hohe Lastanforderungen
  - Z.B. Nachrichten-Sites, Suchmaschinen, Web-verzeichnisse
  - Für permanente Anforderungen müssen Server entsprechen ausgelegt werden

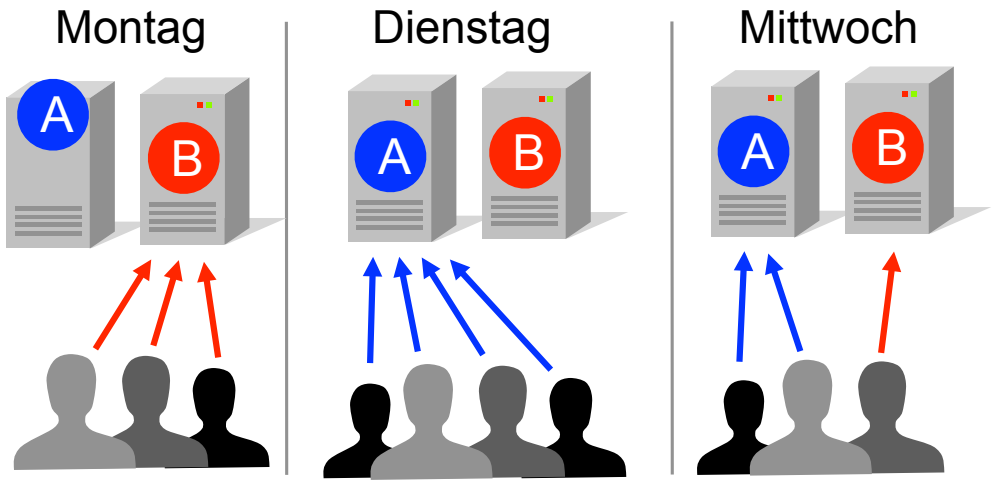
- Andere leiden unter hohen Fluktuationen
  - z. B. bei besonderen Ereignissen:
    - fifa.com (Fussball-EM)
    - t-mobile.de (iPhone 6 Einführung)
  - Server-Erweiterung nicht sinnvoll
  - Bedienung der Anfragen aber erwünscht



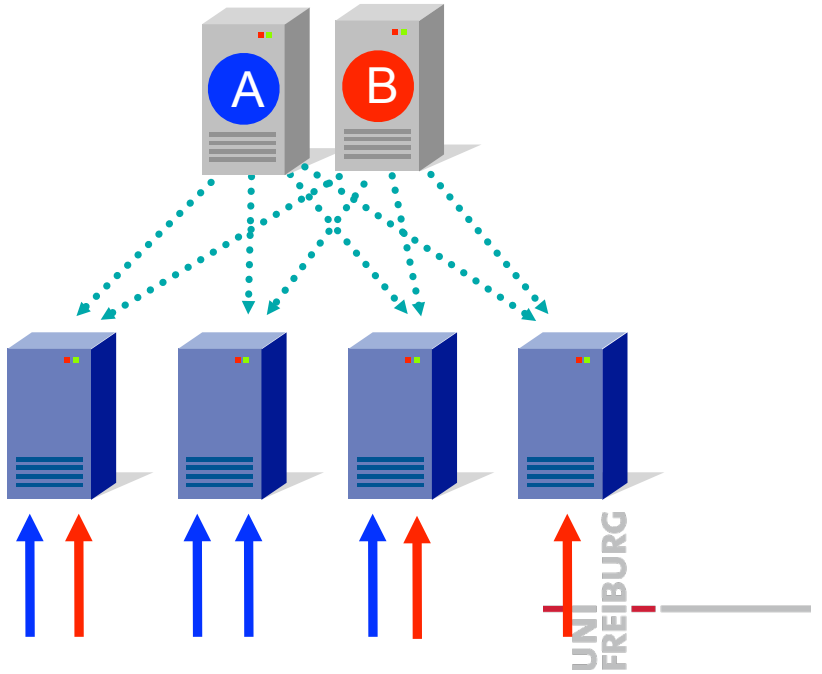
CoNe Freiburg

Lastbalancierung im WWW

- Fluktuationen betreffen meistens einzelne Server



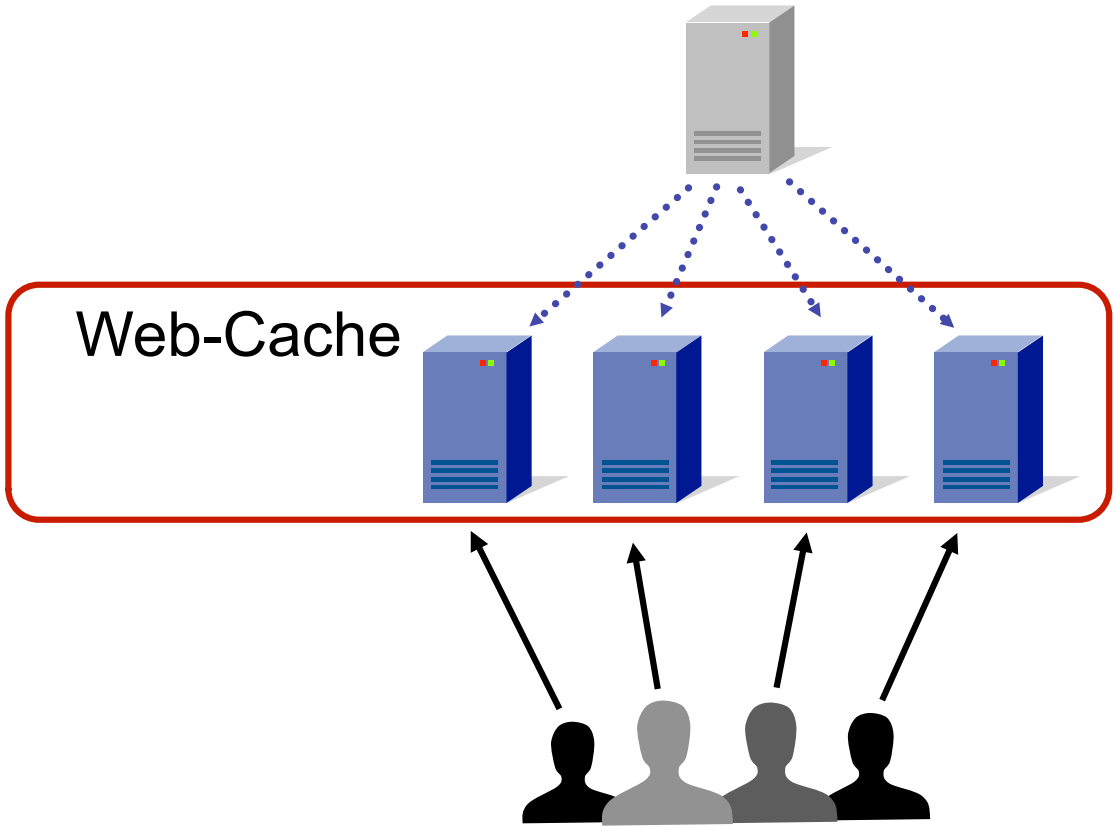
- (Kommerzielle) Lösung
  - Dienstleister bieten Ausweich-(Cache-)Server an
  - Viele Anforderungen werden auf diese Server verteilt
- Aber wie?



CoNe Freiburg

Web-Caching

- Leighton, Lewin, et al. STOC 97
  - *Consistent Hashing and Random Trees: Distributed Caching Protocols for Relieving Hot Spots on the World Wide Web*
  - Passen bestehende Verfahren für dynamische Hash-Funktionen an WWW-Anforderungen an

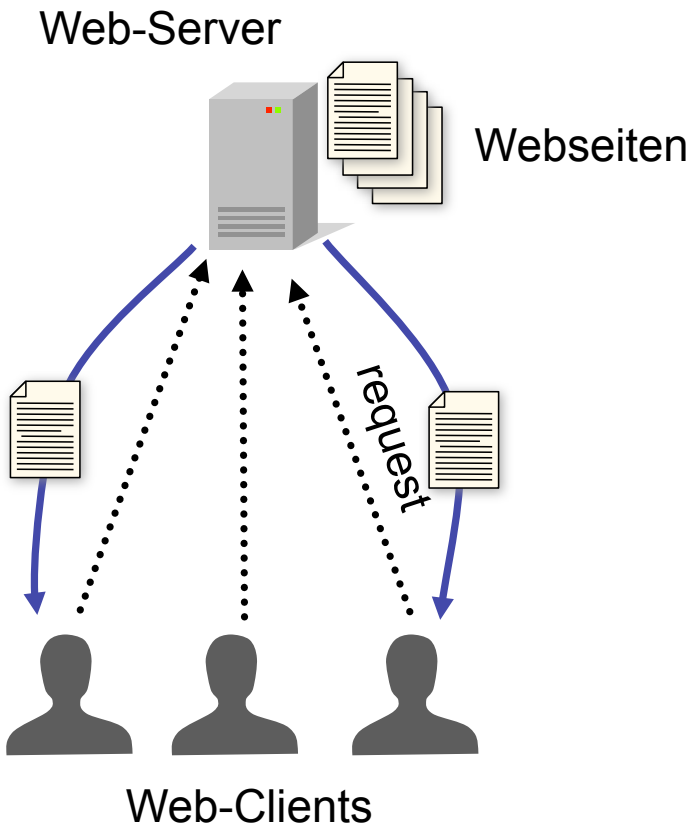


- Leighton und Lewin (MIT) gründen Akamai 1997

CoNe Freiburg

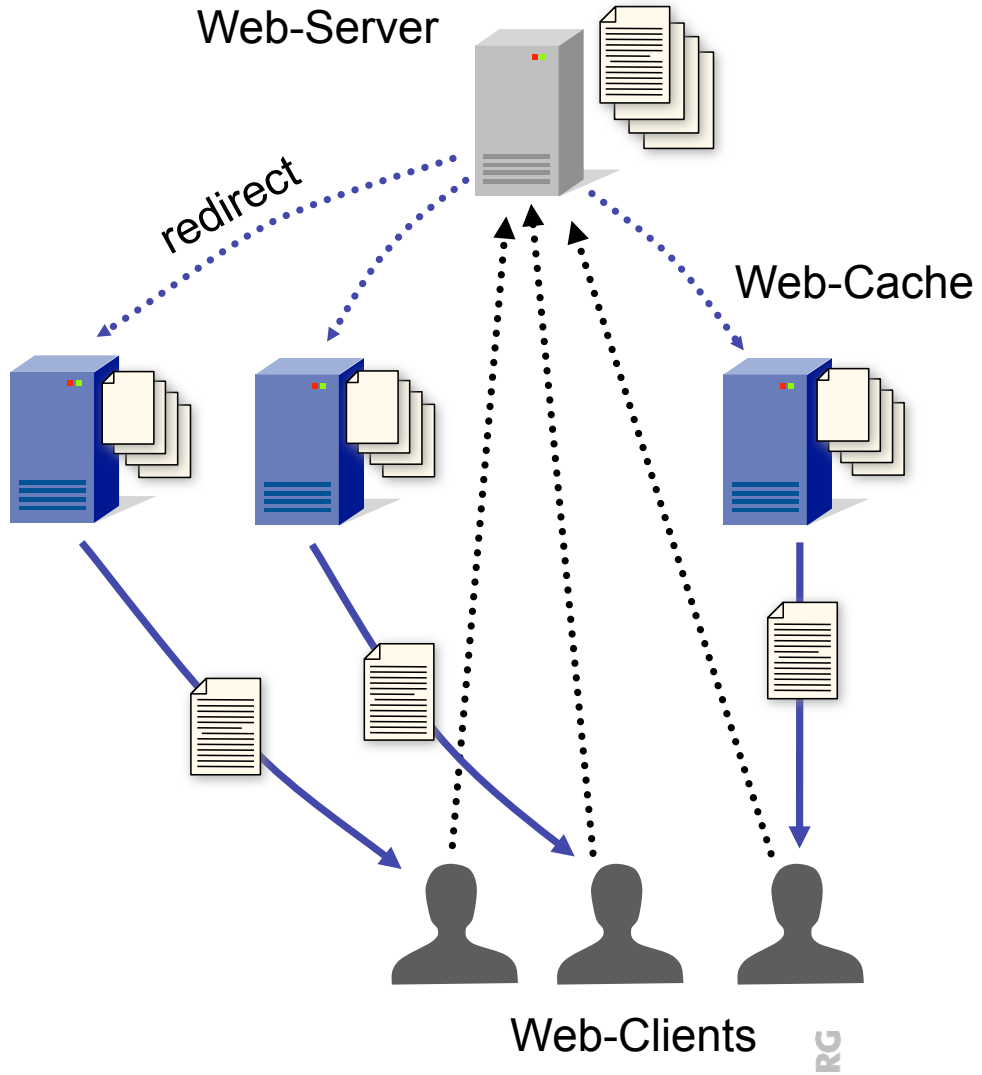
Ausgangssituation

- Ohne Lastbalancierung:
  - Jeder Browser (Web-Client) belegt einen Web-Server für eine Web-Site
- Vorteil:
  - Einfach
- Nachteil:
  - Der Server muss immer für den Worst-Case ausgelegt werden



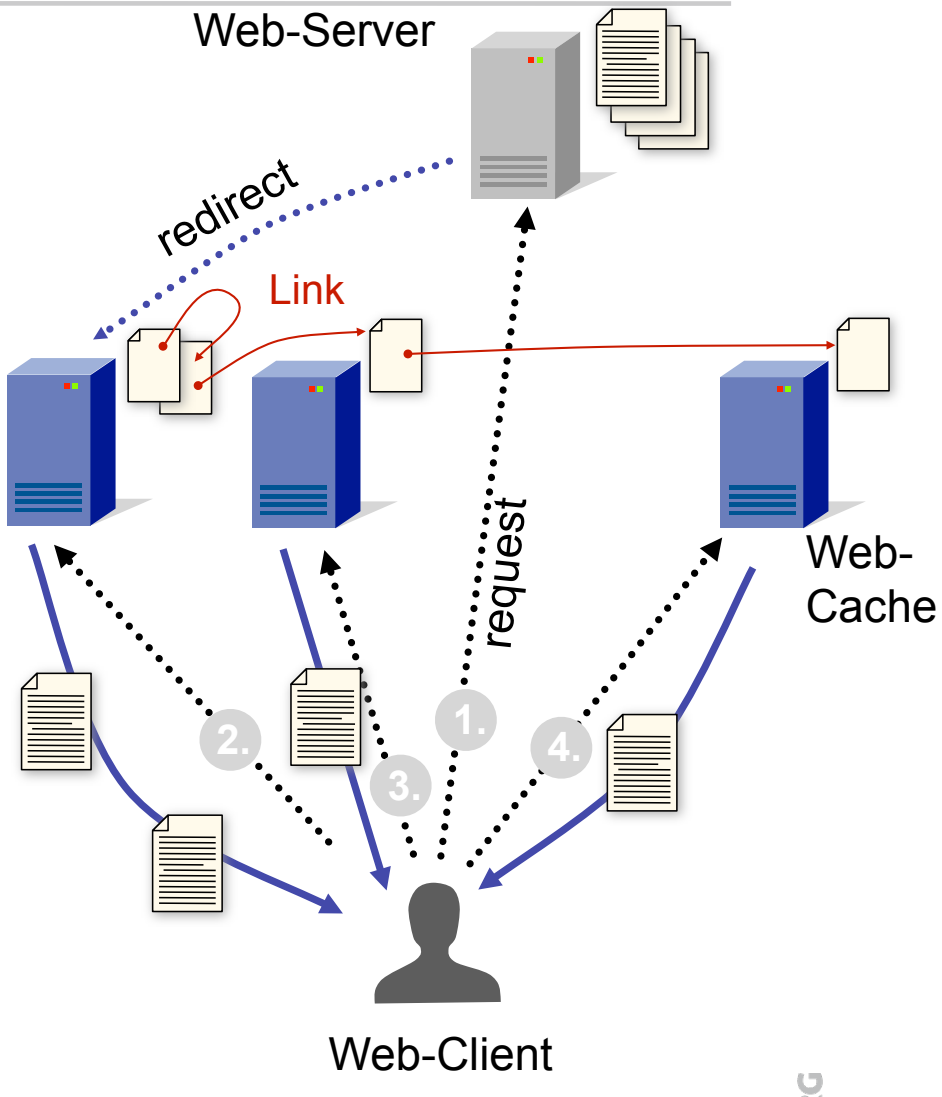
Site Caching

- Ganze Web-Site wird auf verschiedene Web-Caches kopiert
- Browser fragt bei Web-Server nach Seite
- Web-Server leitet Anfrage auf Web-Cache um (redirect)
- Web-Cache liefert Web-Seite aus
- Vorteil:
  - Gute Lastbalancierung für Seitenverteilung
- Nachteil:
  - Bottleneck: Redirect
  - Großer Overhead durch vollständige Web-Site-Replikationen



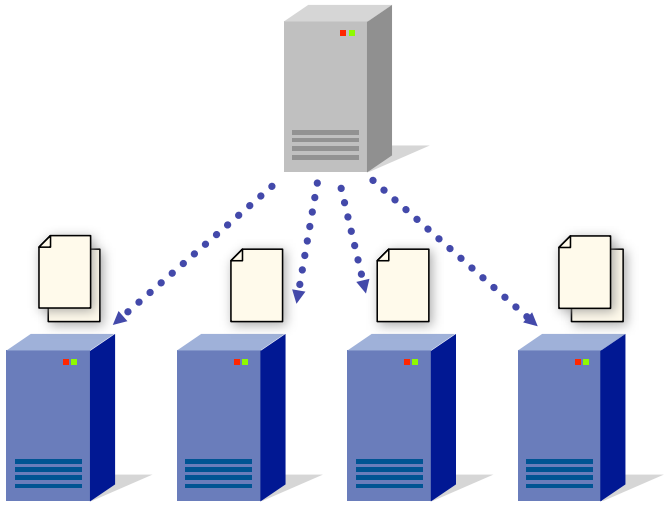
Proxy Caching

- Jede Web-Seite wird auf einige (wenige) Web-Caches verteilt
- Nur Startanfrage erreicht Web-Server
- Links referenzieren auf Seiten im Web-Cache
- Dann surft der Web-Client nur noch auf den Web-Cache
- Vorteil:
  - Kein Bottleneck
- Nachteil:
  - Lastbalancierung nur implizit möglich
  - Hohe Anforderung an Caching-Algorithmus

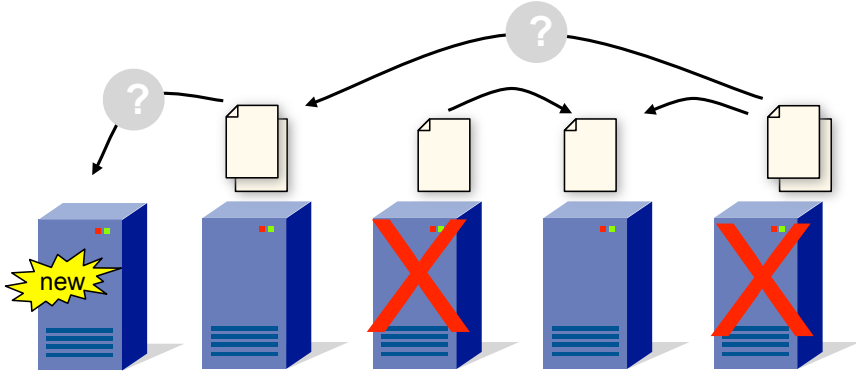


Anforderungen an Caching-Algorithmus

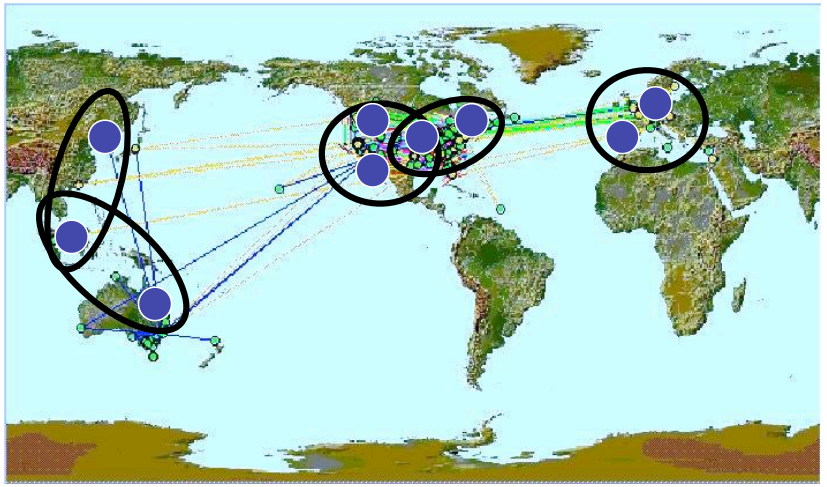
Balance
Gleichmäßige Verteilung der Seiten



Dynamik
Effizientes Einfügen/Löschen von neuen Web-Cache-Servern

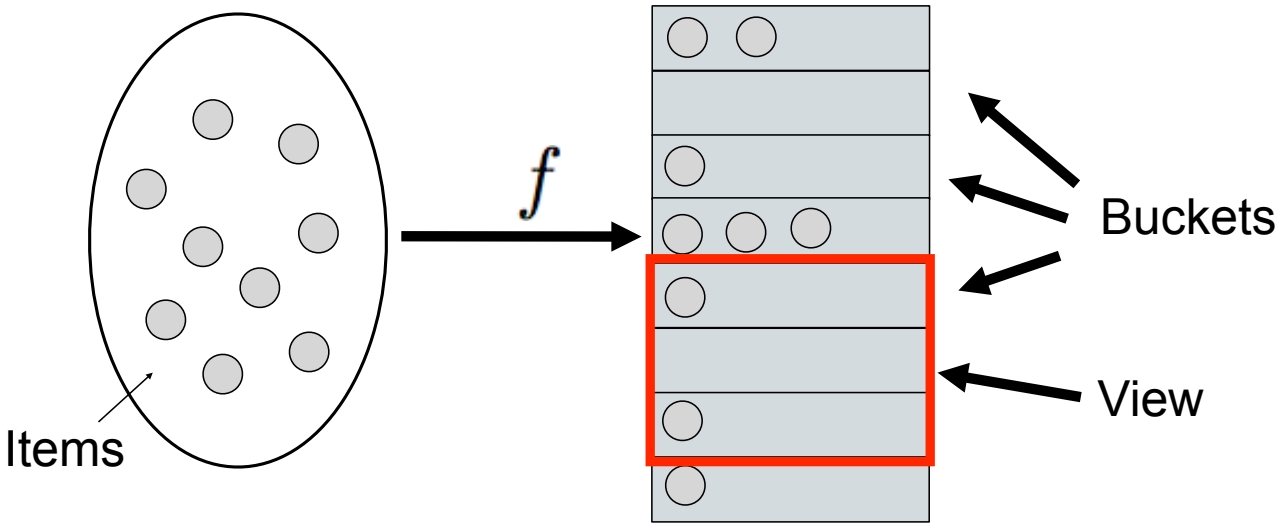


Views
Web-Clients „sehen“ unterschiedliche Menge von Web-Caches



Ranged Hash-Funktionen oder Verteilte Hash-Funktionen

- Gegeben:
  - Elemente (Items)
  - Caches (Buckets)
  - Views: Menge von Caches
- Ranged Hash-Funktion:
  - Zuordnung eines Elements zu einem Cache in einem View



CoNe Freiburg

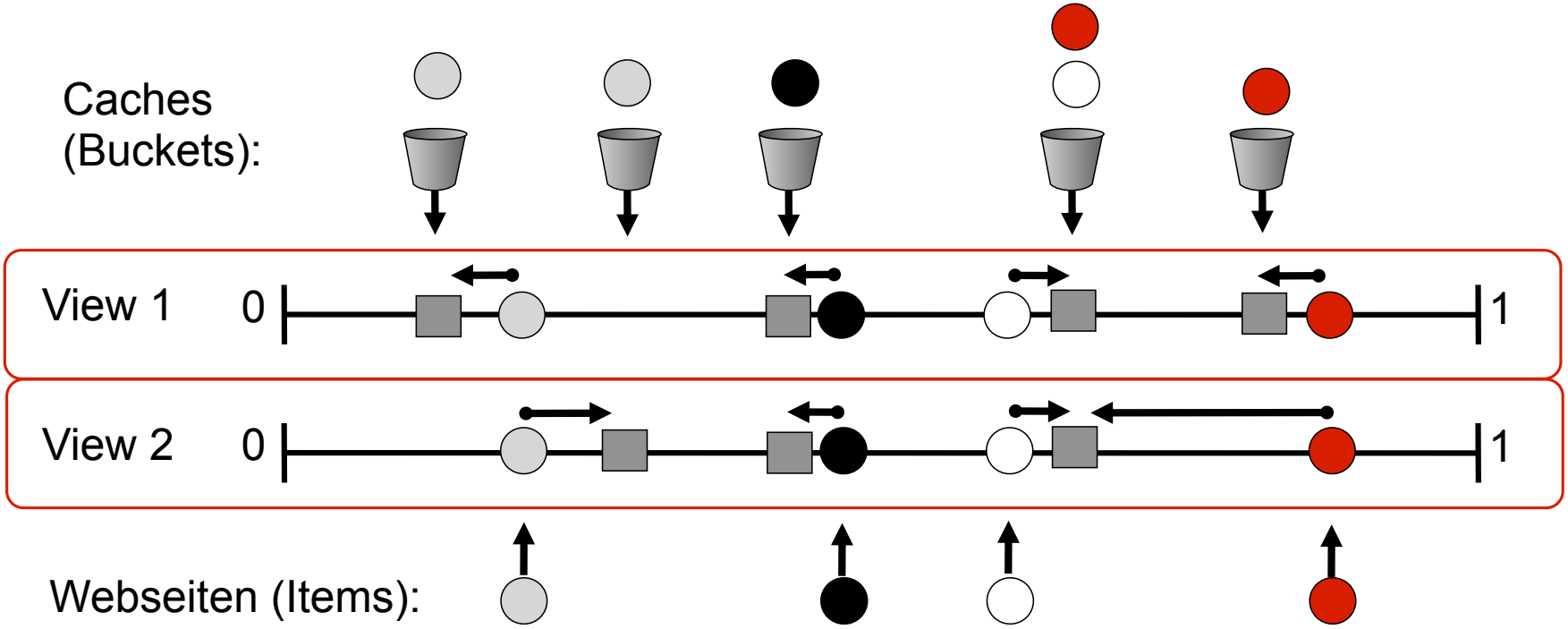
Anforderungen an Ranged Hash-Funktionen

- Monotonie
  - nach dem Hinzufügen neuer Caches (Buckets) sollten keine Seiten (Items) zwischen alten Caches verschoben werden
- Balance
  - Alle Caches sollten gleichmäßig ausgelastet werden
- Spread (Verbreitung,Streuung)
  - Eine Seite sollte auf eine beschränkte Anzahl von Caches verteilt werden
- Load
  - Kein Cache sollte wesentlich mehr als die durchschnittliche Anzahl von Seiten enthalten

UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

Distributed Hash Tables als Lösung



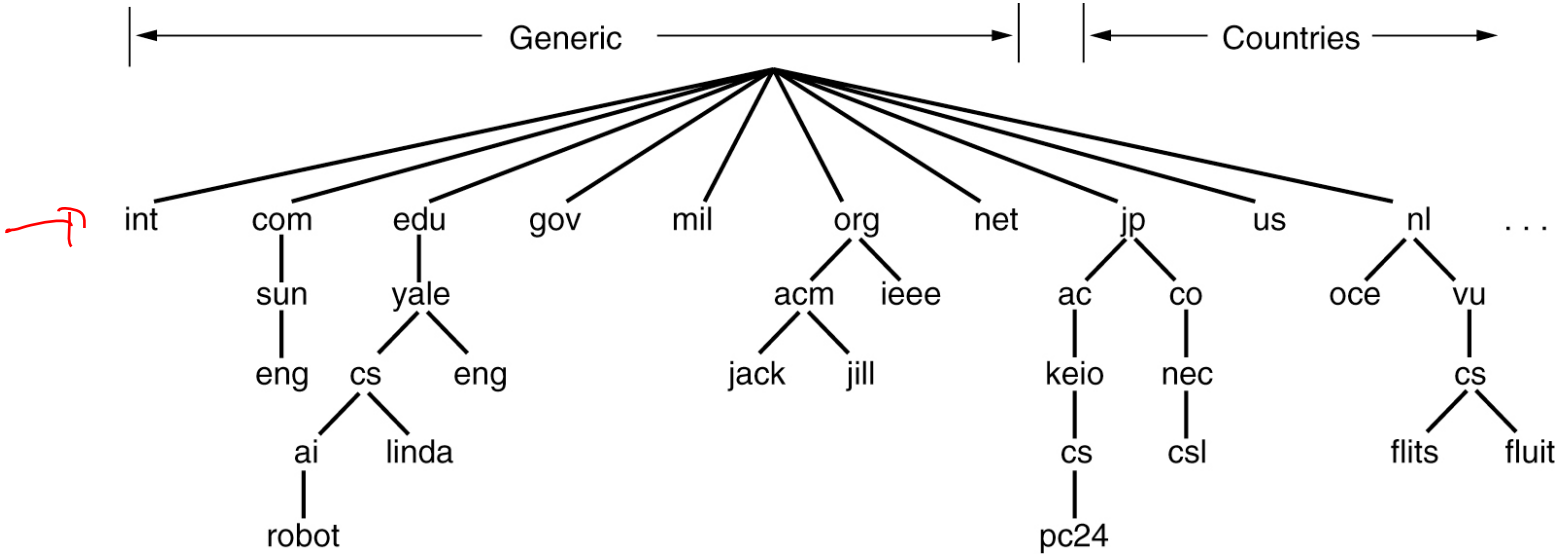
CoNe Freiburg

Domain Name System (DNS) – Motivation

- Menschen kommen mit den 4byte IPv4-Adressen nicht zurecht:
  - 209.85.148.102 für Google
  - 132.230.2.100 für Uni Freiburg
  - Was bedeuten?
    - 77.87.229.75
    - 132.230.150.170
- Besser: Natürliche Wörter für IP-Adressen
  - Z.B. www.get-free-beer.de
  - oder www.uni-freiburg.de
- Das Domain Name System (DNS) übersetzt solche Adressen in IP-Adressen

DNS – Architektur

- DNS bildet Namen auf Adressen ab
  - Eigentlich: Namen auf Ressourcen-Einträge
- Namen sind hierarchisch strukturiert in einen Namensraum
  - Max. 63 Zeichen pro Komponente, insgesamt 255 Zeichen
  - In jeder Domain kontrolliert der Domain-Besitzer den Namensraum darunter
- Die Abbildung geschieht durch Name-Server



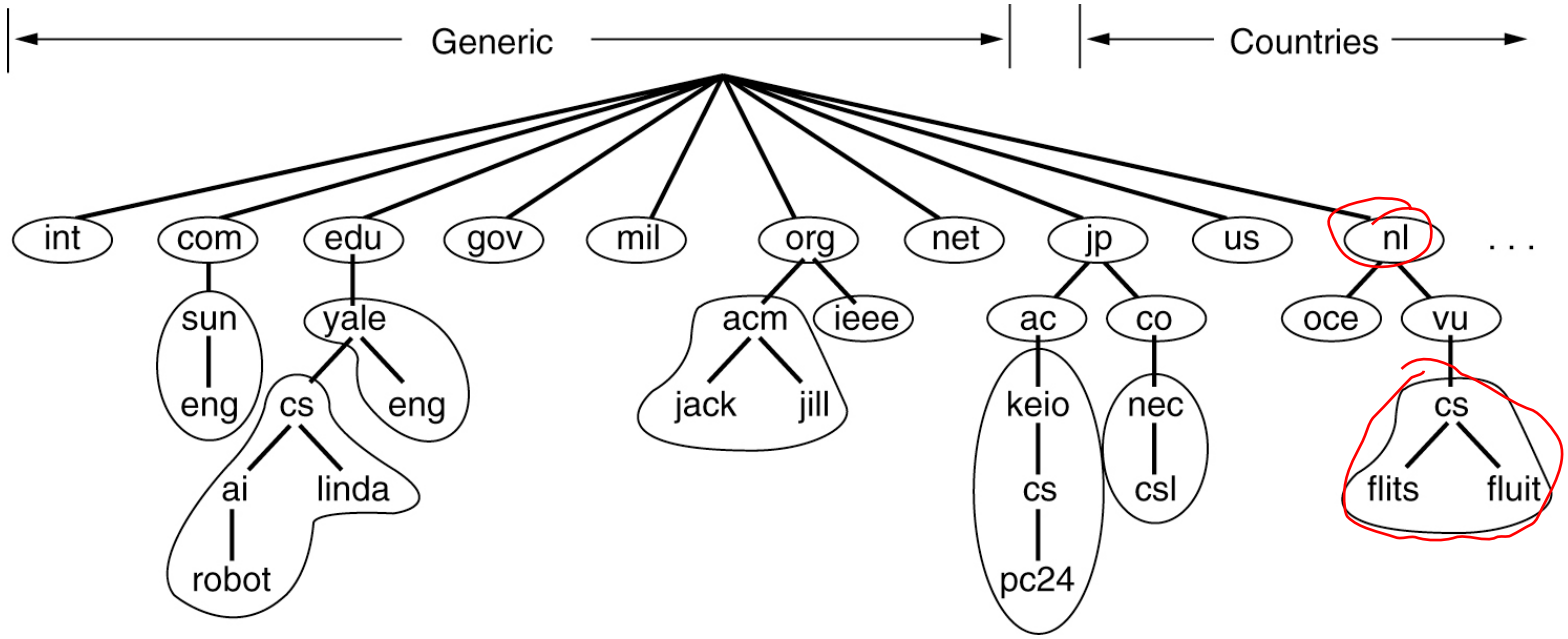
(Aus Tanenbaum)

CoNe Freiburg

DNS Name Server

badbank.de

- Der Namensraum ist in Zonen aufgeteilt
- Jede Zone hat einen *Primary Name Server* mit maßgeblicher Information
  - Zusätzlich *Secondary Name Server* für Zuverlässigkeit
- Jeder Name Server kennt
  - seine eigene Zone
  - Name-Server der darunterliegenden Bereiche
  - Bruder-Name-Server oder zumindestens einen Server, der diese kennt

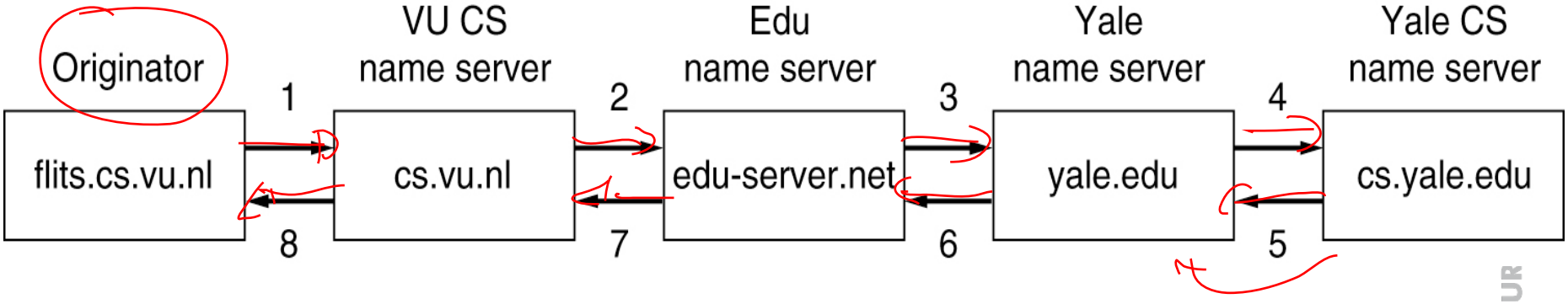


(Aus Tanenbaum)

UNI FREIBURG

DNS Anfragebearbeitung

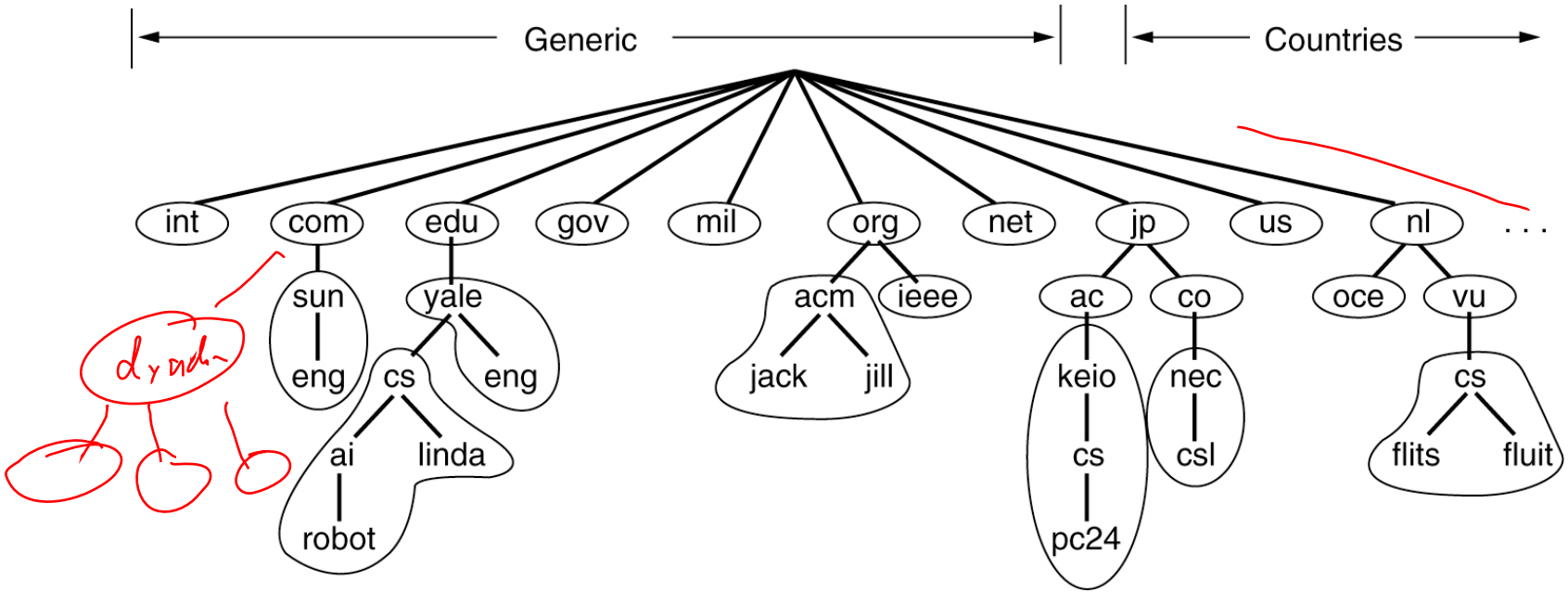
- Anfragen von einem End-System werden zu den vorkonfigurierten Name-Server geschickt
  - Soweit möglich, antwortet dieser Name-Server
  - Falls nicht, wird die Anfrage zu dem bestgeeigneten Name-Server weitergereicht
  - Die Antworten werden durch die Zwischen-Server zurückgeschickt
- Server darf Antworten speichern (cachen)
  - Aber nur für eine bestimmte Zeit

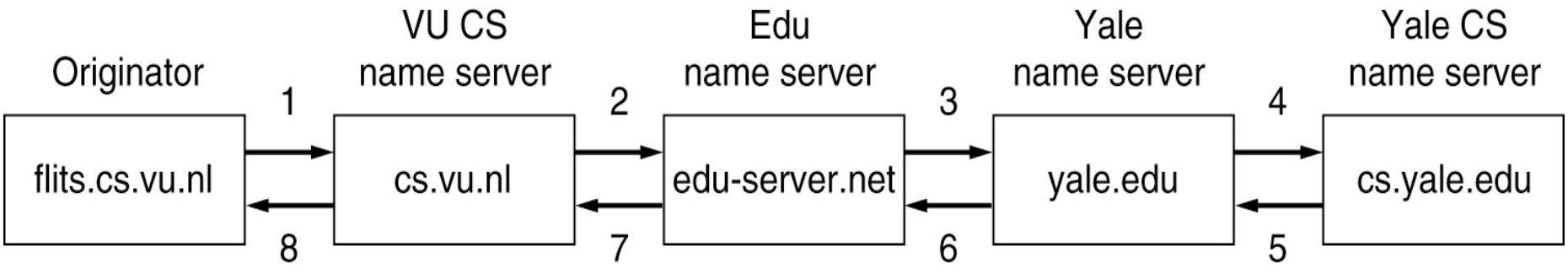


(Aus Tanenbaum)

CoNe Freiburg

Beispiel



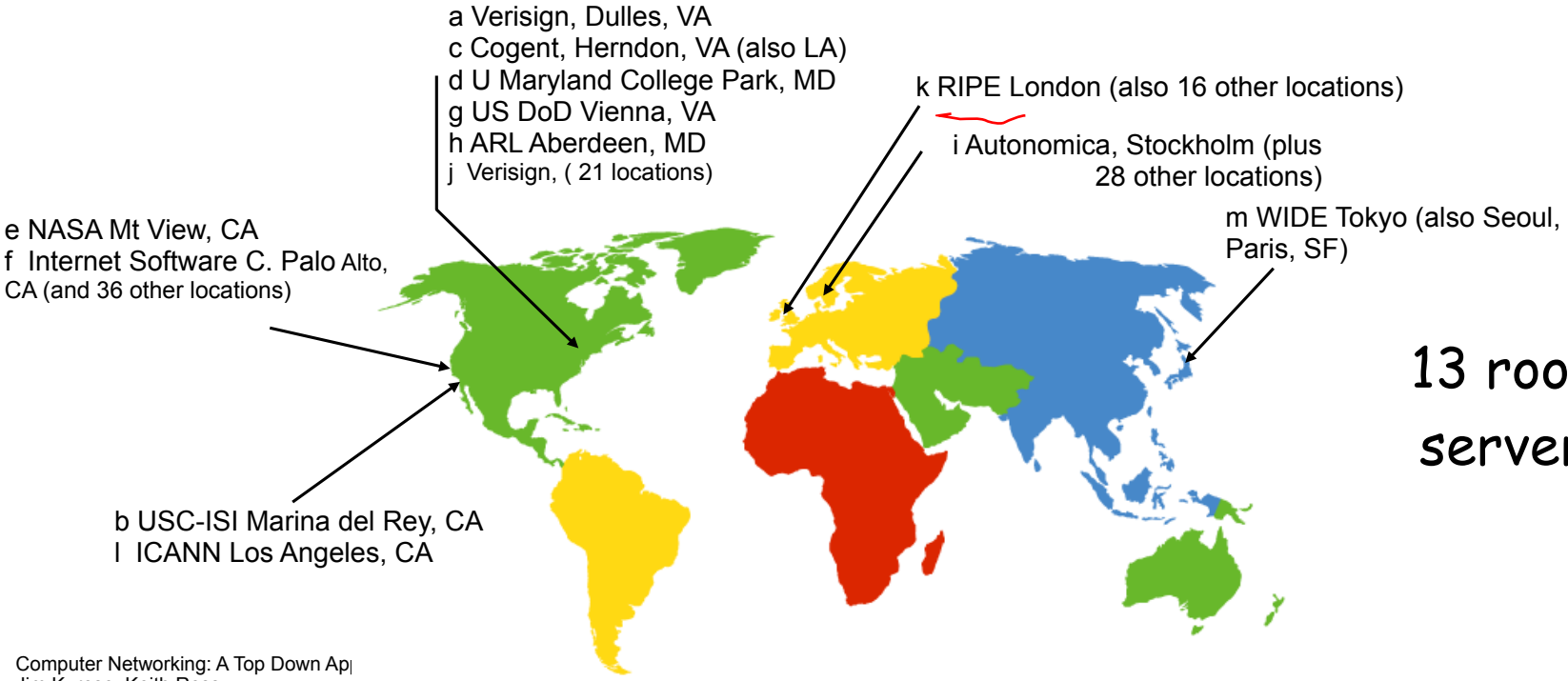


(Aus Tanenbaum)

CoNe Freiburg

DNS Root Name Servers

- wird von lokalen Name-Server kontaktiert, wenn der Name nicht aufgelöst werden kann
- Root Name Server:
  - wird kontaktiert vom Name-Server falls die Zuordnung der Namen nicht bekannt ist.
  - erhält die Zuordnung
  - gibt die Zuordnung an den lokalen Name-Server weiter



13 root name servers worldwide

CoNe Freiburg

TLD und autorisierte Server

- Top-Level Domain (TLD) Server
  - verantwortlich für com, org, net, edu, etc, und alle Top-Level-Country-Domains uk, fr, ca, jp.
  - Network Solutions unterhält Server für *com* TLD
  - Educause für *edu* TLD
- Autorisierte DNS servers:
  - DNS-Server von Organisationen
    - welche verantwortlich für die Zuordnung von IP-Adresse zu Hostnamen sind
  - können von den Organisationen oder Service-Provider unterhalten werden

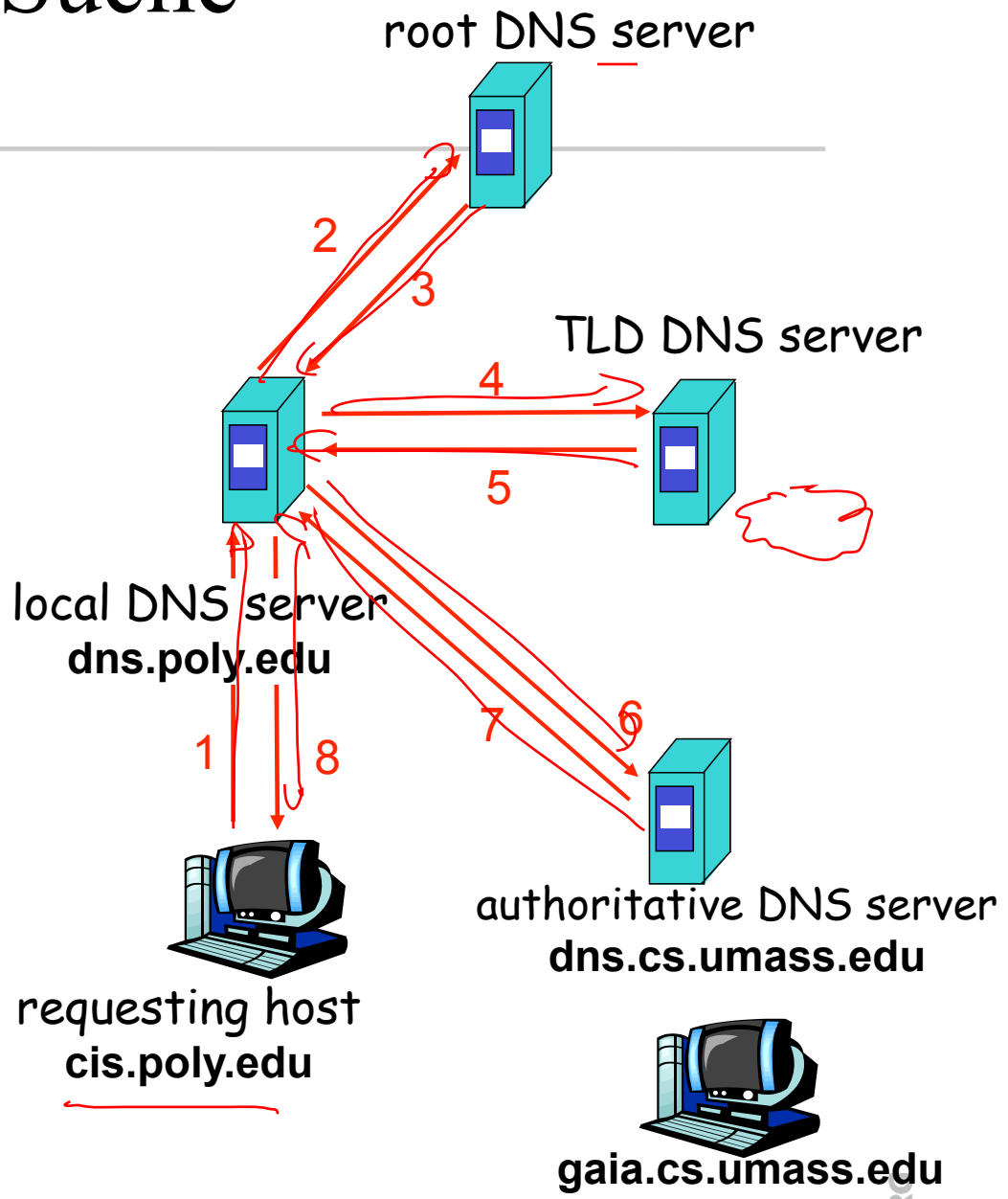
CoNe Freiburg

Local Name Server

- Jeder ISP hat einen lokalen Name-Server
  - Default Name Server
- Jede DNS-Anfrage wird zum lokalen Name-Server geschickt
  - fungiert als Proxy und leitet Anfragen in die Hierarchie weiter

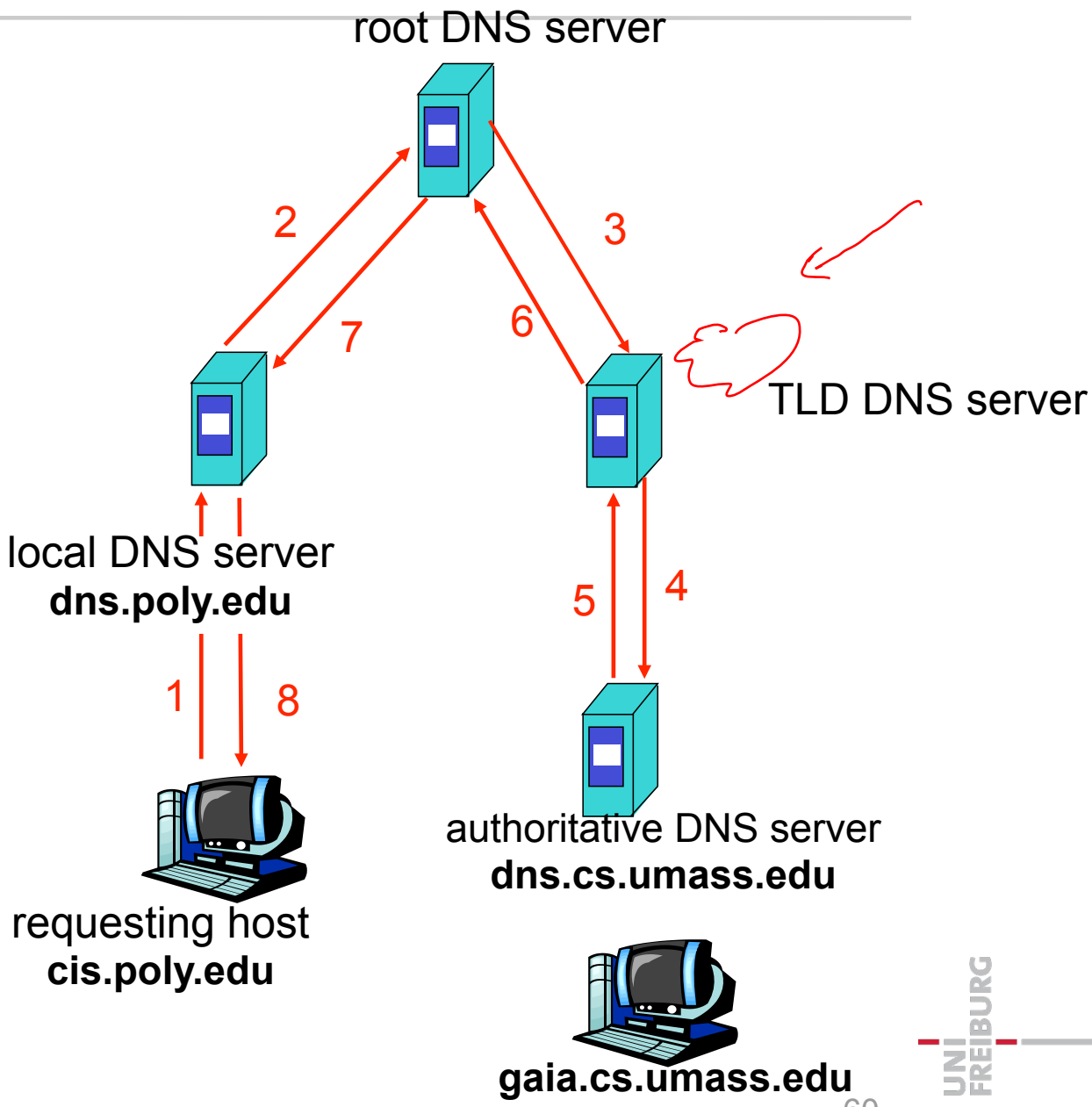
DNS Iterative Suche

- Rechner bei cis.poly.edu fragt nach IP address für gaia.cs.umass.edu
- Iterative Anfrage
  - Angefragte Server antworten
    - mit IP-Adresse
    - oder mit dem Namen des nächsten Servers
  - Lokaler DNS-Server ist selbst für Suche verantwortlich



DNS Rekursive Suche

- Jeder angefragte Server ist für die Namens-auflösung zuständig
- Anfrage wird rekursive weitergeleitet und dann zurück gegeben



CoNe Freiburg

DNS: Caching und Update der Einträge

badbank.de

- Sobald ein Name-Server einen Namen kennen lernt, speichert er die Zuordnung
  - Cache-Einträge haben einen Time-Out und werden nach einer gewissen Zeit gelöscht
  - TLD-Servers werden in lokalen Name-Servern gespeichert
    - Daher werden Root-Name-Server nicht oft besucht
- Update und Benachrichtungsmechanismus von IETF festgelegt
  - RFC 2136
  - http://www.ietf.org/html.charters/dnsind-charter.html

CoNe Freiburg

DNS-Einträge

- DNS: verteilte Datenbank speichert Resource Records (RR)
- RR Format: (Name, Wert, Typ, TTL)
- Typ = A
  - Name = hostname
  - Wert = IP-Adresse
- Typ = NS
  - Name = domain (z.B. uni-freiburg.de)
  - Wert = hostname eines autorisierten Name-Servers für diese Domain
- Typ = CNAME
  - Name = Alias für einen „kanonischen“ (wirklichen) Namen
    - z.B. www.ibm.com ist in Wirklichkeit servereast.backup2.ibm.com
    - Wert ist kanonischer Name
- Typ = MX
  - Wert ist der Name des Mailservers

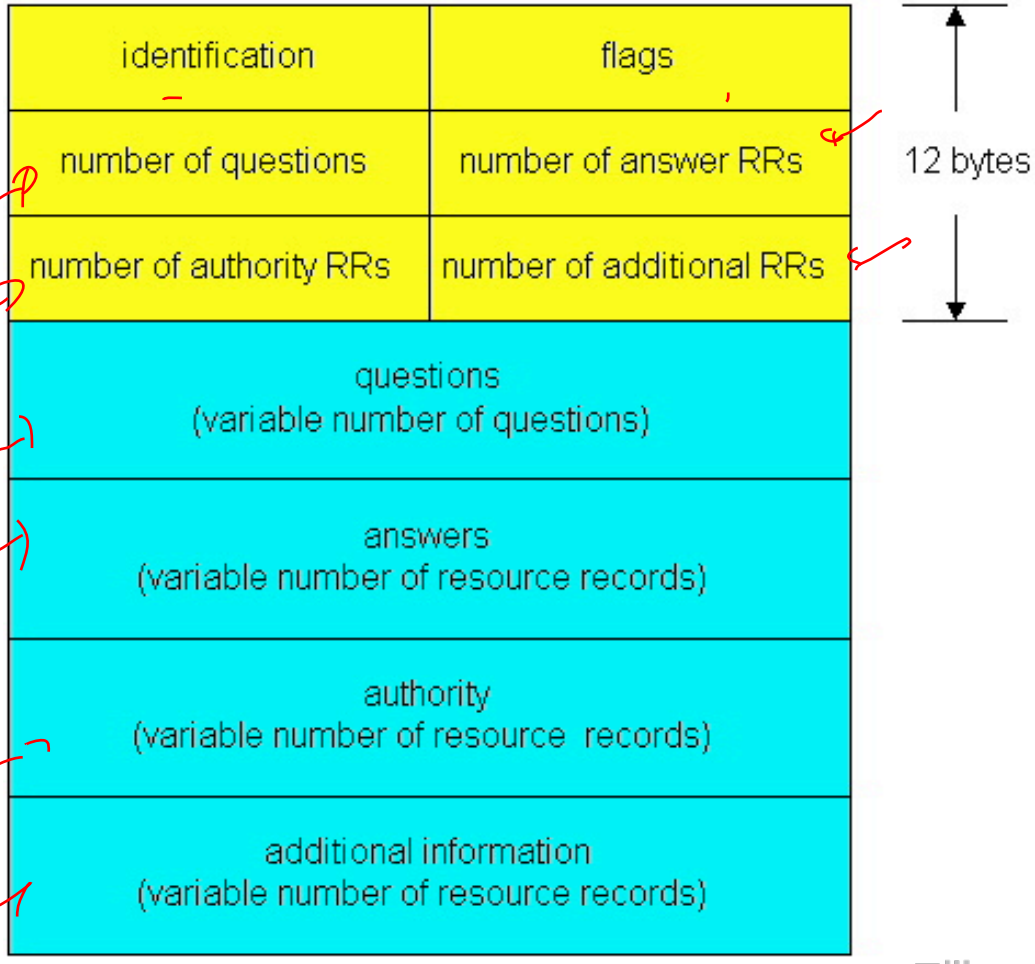
DNS Resource Record

- Ressourcen-Einträge: Informationen über Domains, einzelne Hosts,...
- Inhalt:
  - Domain_name: Domain(s) des Eintrags
  - Time_to_live: Gültigkeit (in Sekunden)
  - Class: Im Internet immer “IN”
  - Type: Siehe Tabelle
  - Value: z.B. IP-Adresse

Type	Meaning	Value
SOA	Start of Authority	Parameters for this zone
A	IP address of a host	32-Bit integer
MX	Mail exchange	Priority, domain willing to accept e-mail
NS	Name Server	Name of a server for this domain
CNAME	Canonical name	Domain name
PTR	Pointer	Alias for an IP address
HINFO	Host description	CPU and OS in ASCII
TXT	Text	Uninterpreted ASCII text

DNS-Protokoll und Nachrichten

- DNS-Protokoll
  - Anfrage und Antwort im selben Format
- Nachrichten-Header
  - ID, 16 Bit für Anzahl der Anfragen, Anzahl der Antworten, ...
- Flags:
  - Query oder Reply
  - Rekursion gewünscht
  - Rekursion verfügbar
  - Antwort ist autorisiert



Computer Networking: A Top Down Approach
Jim Kurose, Keith Ross

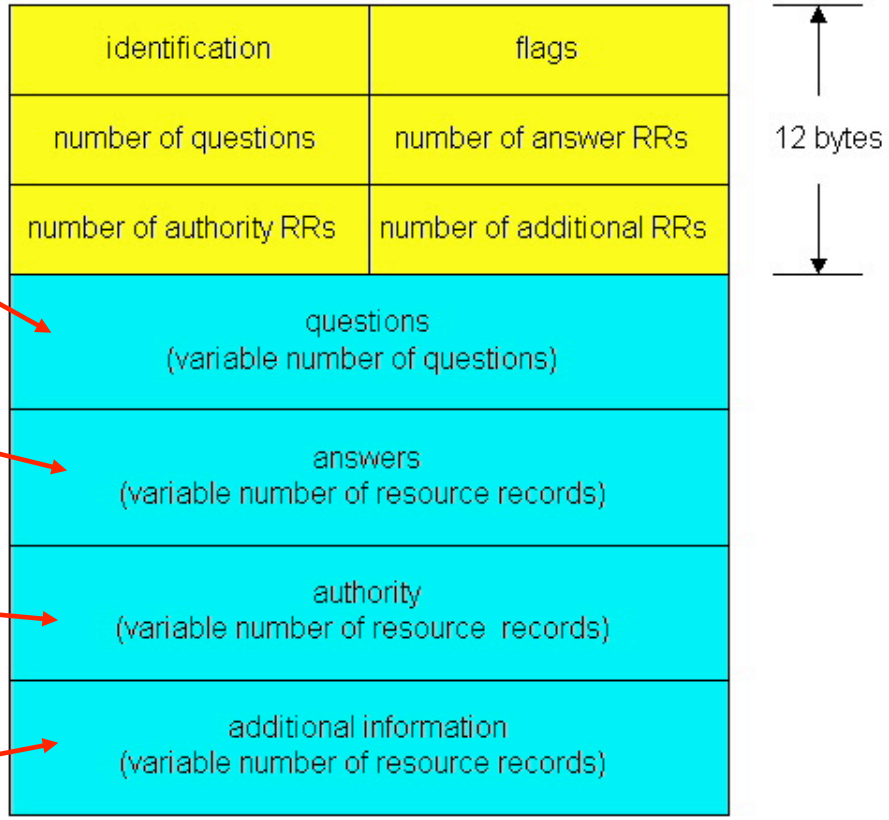
DNS-Protokoll und Nachrichten

Name, type fields for a query

RRs in response to query

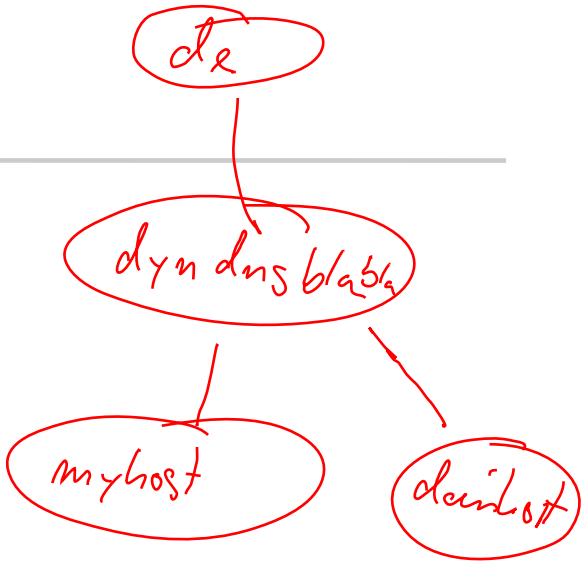
records for authoritative servers

additional “helpful” info that may be used



CoNe Freiburg

Dynamisches DNS

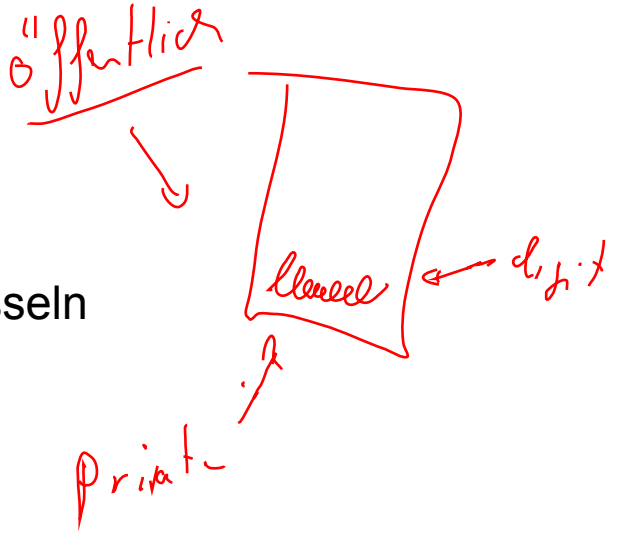


- Problem
  - Zeitlich zugewiesene IP-Adressen
  - z.B. durch DHCP
- Dynamisches DNS
  - Sobald ein Knoten eine neue IP-Adresse erhält, registriert dieser diese beim DNS-Server, der für diesen Namen zuständig ist
  - Kurze time-to-live-Einträge sorgen für eine zeitnahe Anpassung
    - da sonst bei Abwesenheit die Anfragen an falsche Rechner weitergeleitet werden
- Anwendung
  - Registrierung einer Domain für den Otto Normalverbraucher
  - Siehe www.dyndns.com

UNI FREIBURG

DNS Security Extensions

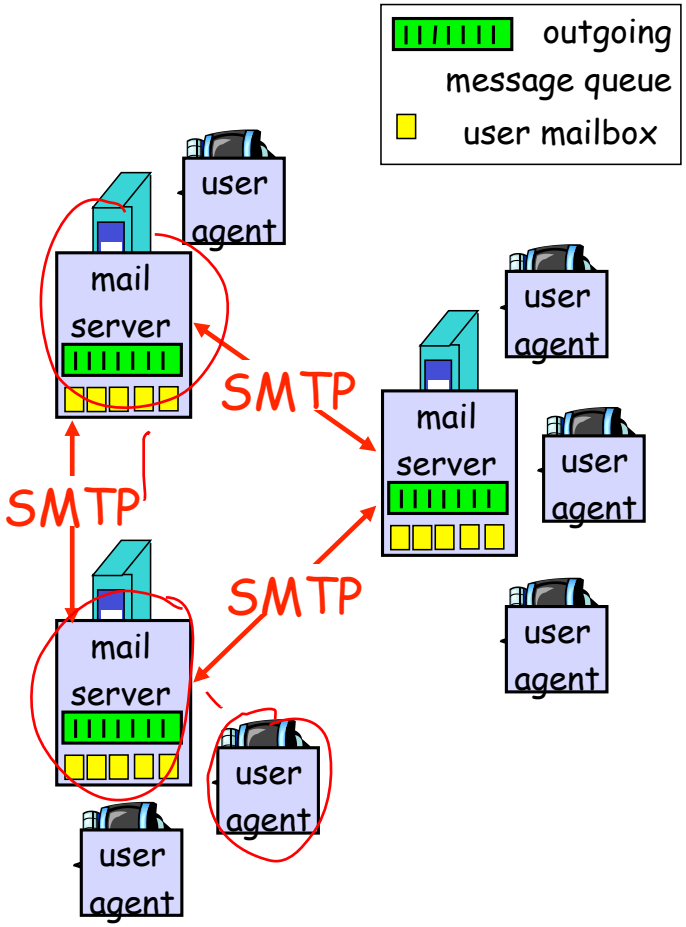
- Cache Poisoning
  - Falsche Einträge werden in DNS-Server eingebracht
  - weitergeleitete Einträge werden gecacht und können zu falschen Auskünften führen
- DNSSEC
  - implementiert seit 2010
  - Zuständiger Master-Server unterschreibt seine Einträge digital (mit Hilfe eines Public-Key-Kryptosystems)
  - Ursprüngliche Information bleibt unverschlüsselt
- Schlüsselverwaltung
  - Gegenseitiges unterschreiben der Public-Keys
  - Aufwand wird gemildert durch „Chain of Trust“
  - Hierarchisches Kette von unterschriebenen Schlüsseln
- Diskussion
  - aufwändigere DNS-Antworten
  - Sicherheitslücken bleiben bestehen



CoNe Freiburg

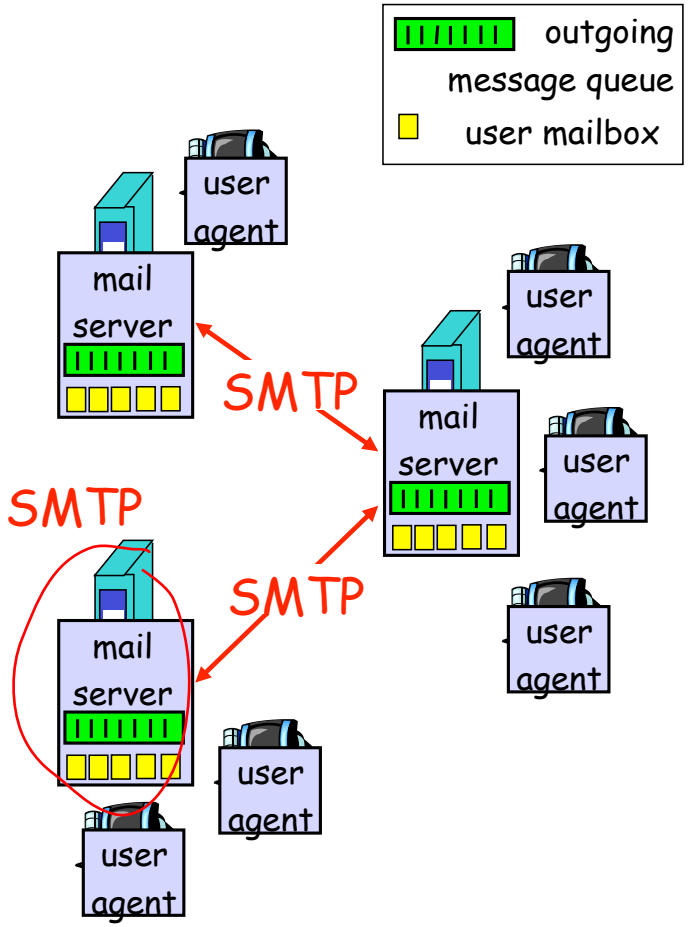
Electronic Mail

- Hauptkomponenten
  - user agents
  - mail servers
  - simple mail transfer protocol: SMTP
- User Agent
  - Mail Client
  - Erstellen, ändern und lesen von E-Mail-Nachrichten
  - z.B. Eudora, Outlook, pine, Mozilla Thunderbird
  - abg ehende und ankommende Nachrichten werden auf dem Server gespeichert



Mail-Servers

- Mailbox speichert eingehende Nachrichten für den User
  - Nachrichten-Warteschlange (queue) der zu versendenden Nachrichten
- SMTP-Protocol zwischen Mail-Servern um E-Mail-Nachrichten zu schicken



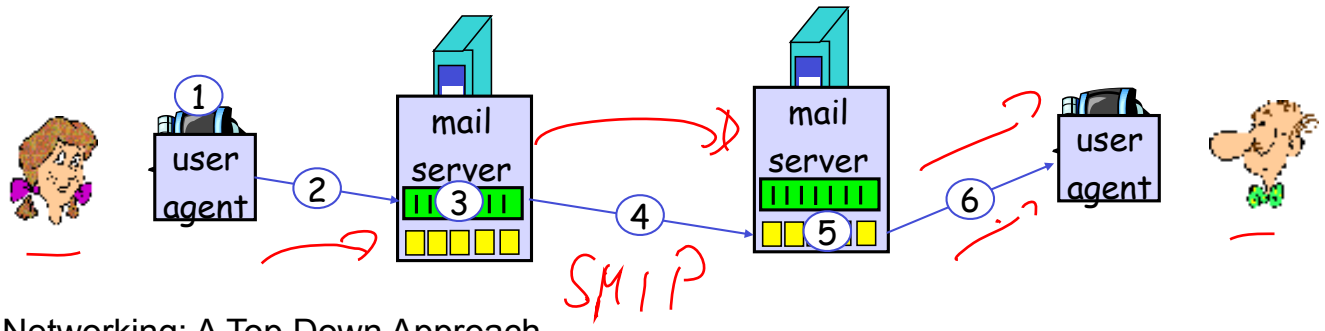
CoNe Freiburg

Electronic Mail: SMTP [RFC 2821]

- verwendet TCP um zuverlässig E-Mail-Nachrichten vom Client auf Port 25 zu verschicken
- Direkte Übertragung von Absender-Server zum Empfangs-Server
- 3 Phasen in der Übertragung
  - Handshake
  - Transfer der Nachricht
  - Abschluss
- Befehle und Antwort
  - Befehle als ASCII text
  - Antwort: Status-Code und Kurzbeschreibung
- Nachrichten sind in 7-bit ASCII

Beispiel: Alice sendet eine Nachricht an Bob

- 1) Alice verwendet UA um die Nachricht zu erzeugen mit Eintrag “to” bob@someschool.edu
- 2) Alice UA sendet die Nachricht zu ihren Mail-Server
  - Nachricht wird in der Nachrichtenwartenschlange platziert
- 3) Client-Seite des SMTP öffnet TCP-Verbindung mit Bobs Mail-Server
- 4) SMTP Client sendet Alice Nachricht über die TCP-Verbindung
- 5) Bobs Mail-Server schreibt die Nachricht in Bobs Mailbox
- 6) Bob ruft seinen User Agent auf, um die Nachricht zu lesen



Beispiel SMTP Interaktion

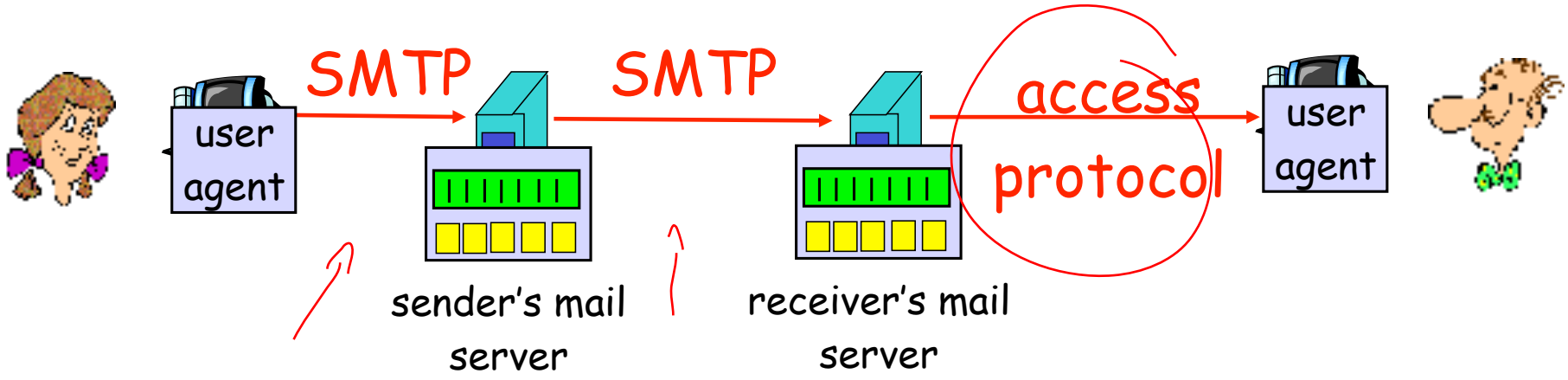
```
S: 220 hamburger.edu
C: HELO crepes.fr
S: 250  Hello crepes.fr, pleased to meet you
C: MAIL FROM: <alice@crepes.fr>
S: 250 alice@crepes.fr... Sender ok
C: RCPT TO: <bob@hamburger.edu>
S: 250 bob@hamburger.edu ... Recipient ok
C: DATA
S: 354 Enter mail, end with "." on a line by itself
C: Do you like ketchup?
C: How about pickles?
C: .
S: 250 Message accepted for delivery
C: QUIT
S: 221 hamburger.edu closing connection
```

CoNe Freiburg

SMTP - Abschließende Bemerkungen

- SMTP
  - verwendet persistente Verbindungen
  - verlangt Nachrichten (header & body) in 7-bit ASCII
  - SMTP-Server verwenden „CRLF.CRLF“ um das Ende einer Nachricht zu beschreiben
- Vergleich mit HTTP:
  - HTTP: pull
  - SMTP: push
  - beide haben ASCII Befehls- und Antwort-Interaktion und Status-Codes
- HTTP
  - jedes Objekt wird in eigener Nachricht verpackt
- SMTP
  - verschiedene Objekte werden in einer Multipart-Nachricht verschickt

Mail-Zugriffsprotokolle



- SMTP: Auslieferung und Speicher zum Server des Empfängers
- Mail-Zugriffsprotocol: E-Mail-Abruf vom Server
  - POP: Post Office Protocol [RFC 1939]
    - Authentifizierung (zwischen Agent und Server) und Download
  - IMAP: Internet Mail Access Protocol [RFC 1730]
    - mehr Features und komplexer
    - Bearbeitung von gespeicherten Nachrichten **auf** dem Server
  - HTTP: gmail, Hotmail, Yahoo! Mail, web.de, etc.

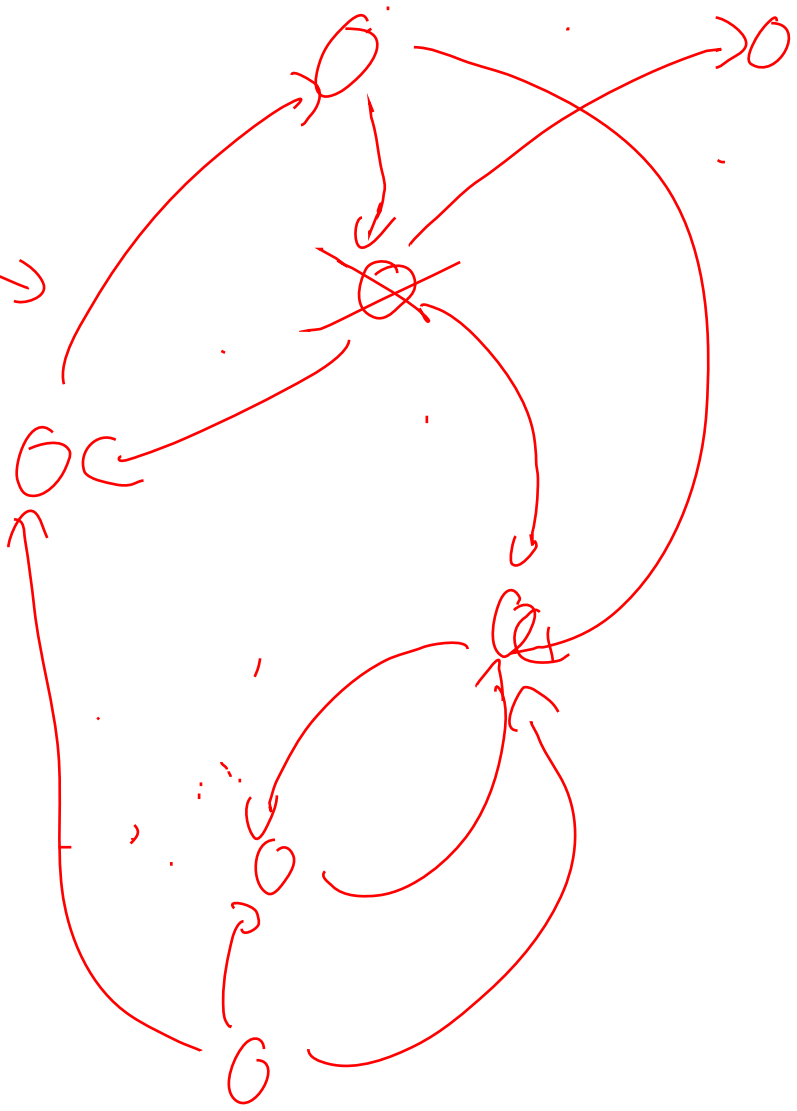
POP3 und IMAP

- POP3 (Post-Office-Protocol)
  - User kann im “download and delete” Modus E-Mails einmalig herunterladen
  - User kann E-Mails noch einmal lesen, wenn er den Client wechselt:
    - “Download-and-keep”: Kopien der Nachricht auf verschiedenen Clients
  - POP3 ist zustandslos (stateless) von einer Sitzung zur nächsten
- IMAP (Internet Message Access Protocol)
  - hält alle Nachrichten an einem Ort: dem Server
  - erlaubt dem User die Nachrichten in Ordnern zu organisieren
  - IMAP speichert den Benutzer-Status zwischen Sitzungen
  - Namen der Ordner und Zuordnung zwischen Nachrichten-ID und Ordnernamen

CoNe Freiburg

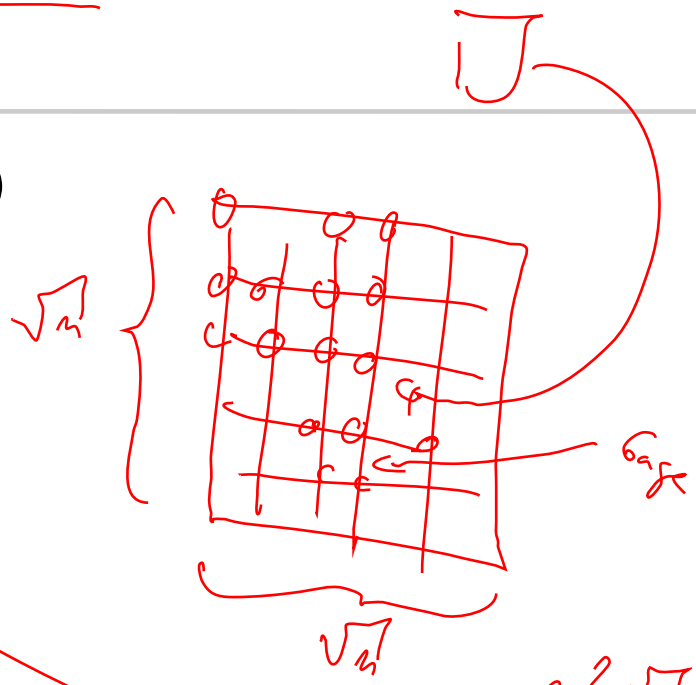
Meilensteine P2P Systeme

- Napster 1999-2000
  - Filesharing, nur rudimentäres P2P
- Gnutella 2000
  - 1. echtes P2P-Netzwerk
- Edonkey 2000
  - Mehr Filesharing als P2P
- FreeNet 2000
  - Anonymisiertes P2P-Netzwerk
- FastTrack 2001
  - KaZaa, Morpheus, Grokster
- Bittorrent 2001
- Skype 2003
  - VoIP (voice over IP), Chat, Video



CoNe Freiburg

Milestones Theorie



- Distributed Hash-Tables (DHT) (1997)
  - Ziel: Lastbalancierung für Web-Server
- CAN (2001)
  - DHT-Netzwerk-Struktur
- Chord (2001)
  - Erstes effiziente P2P-Netzwerk
  - Logarithmische Suchzeit
- Pastry/Tapestry (2001)
  - Effizientes verteiltes P2P-Netzwerk unter Verwendung des Plaxton-Routing
- Und viele andere Ansätze
  - Viceroy, Distance-Halving, Koorde, Skip-Net, P-Grid, ...
- In den letzten fünf Jahren:
  - Network Coding for P2P
  - Game theory in P2P
  - Anonymity, Security

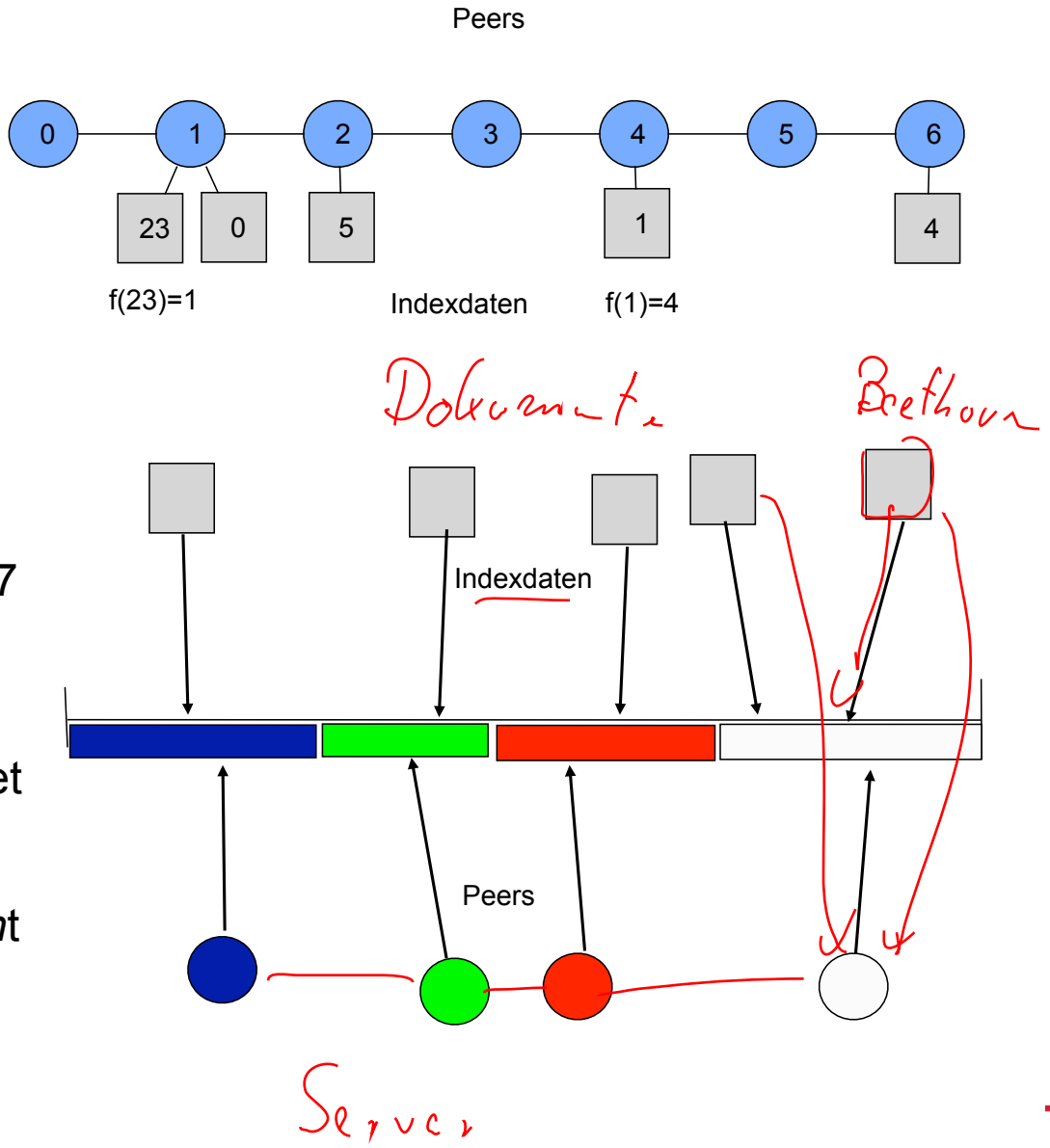
CoNe Freiburg

Was ist ein P2P-Netzwerk

- Was ist P2P **NICHT**?
  - Ein Client-Server network
- Etymologie: peer
  - lateinisch: par = gleich
  - Standesgleich
  - P2P, Peer-to-Peer: Beziehung zwischen gleichwertigen Partnern
- Definition
  - Ein Peer-to-Peer Network ist ein Kommunikationsnetzwerk im Internet
    - ohne zentrale Kontrollel
    - mit gleichwertigen, unzuverlässigen Partnern

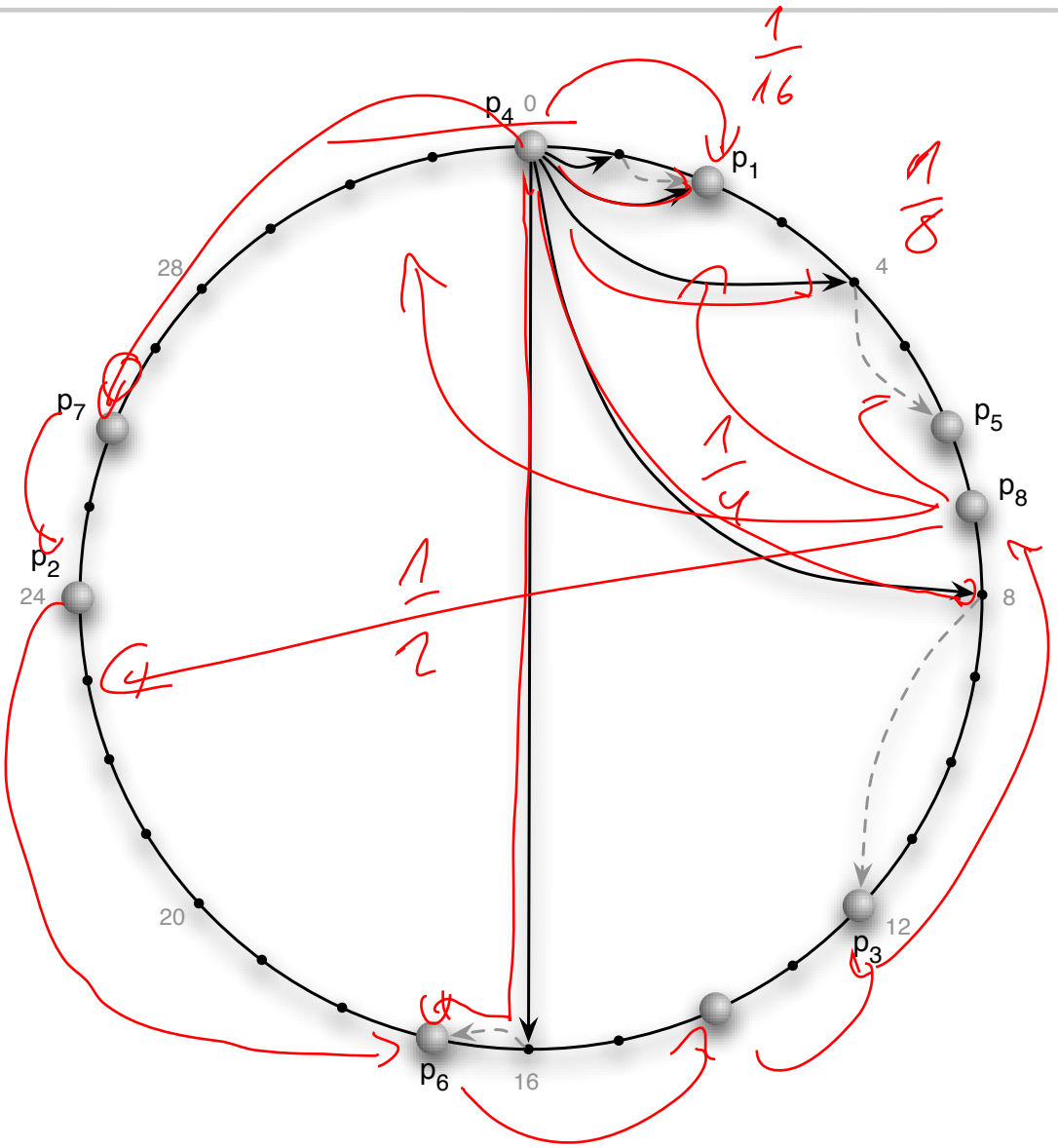
Distributed Hash-Table (DHT)

- Hash-Tabellen
  - nicht praktikabel in P2P
- Verteilte Hash-Tabellen
  - *Consistent Hashing and Random Trees: Distributed Caching Protocols for Relieving Hot Spots on the World Wide Web*, Karger, Lehman, Leighton, Levine, Lewin, Panigrahy, STOC 1997
- Daten
  - werden ge*hash*t und nach Bereich den Peers zugeordnet
- Peers
  - werden an eine Stelle ge*hash*t und erhalten Bereiche des Wertebereichs der Hashfunktion zugeteilt



CoNe Freiburg

Zeiger-Struktur in Chord

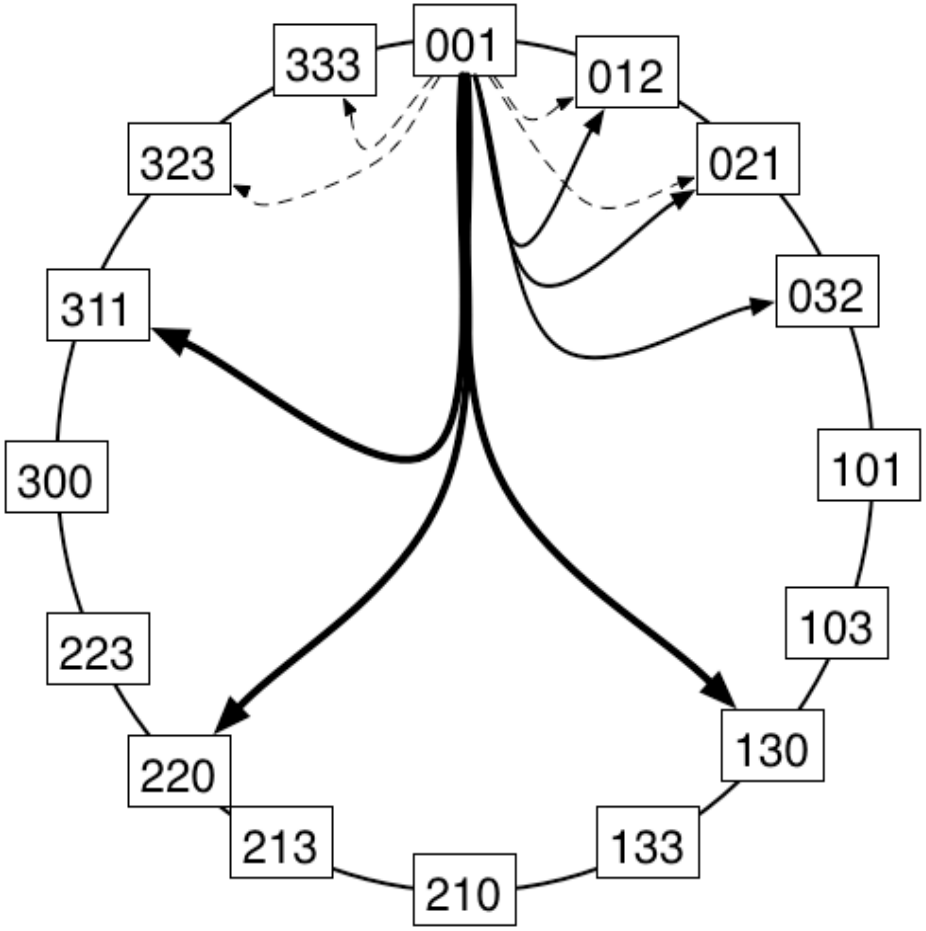


UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

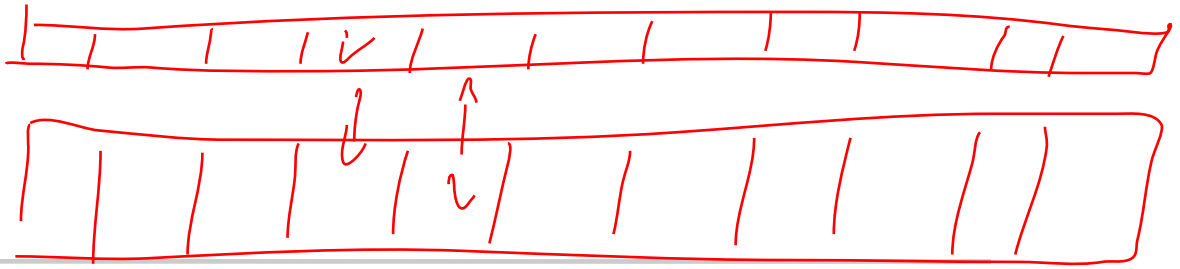
Pastry

- Peter Druschel
  - jetzt Direktor des Max-Planck-Instituts für Informatik, Saarbrücken/ Kaiserslautern
- Antony Rowstron
  - Microsoft Research, Cambridge, GB
- Pastry
  - *Scalable, decentralized object location and routing for large scale peer-to-peer-network*
  - Chord-ähnliches Netzwerk, welches das Routing von Plaxton, Rajamaran, Richa (1997) verwendet



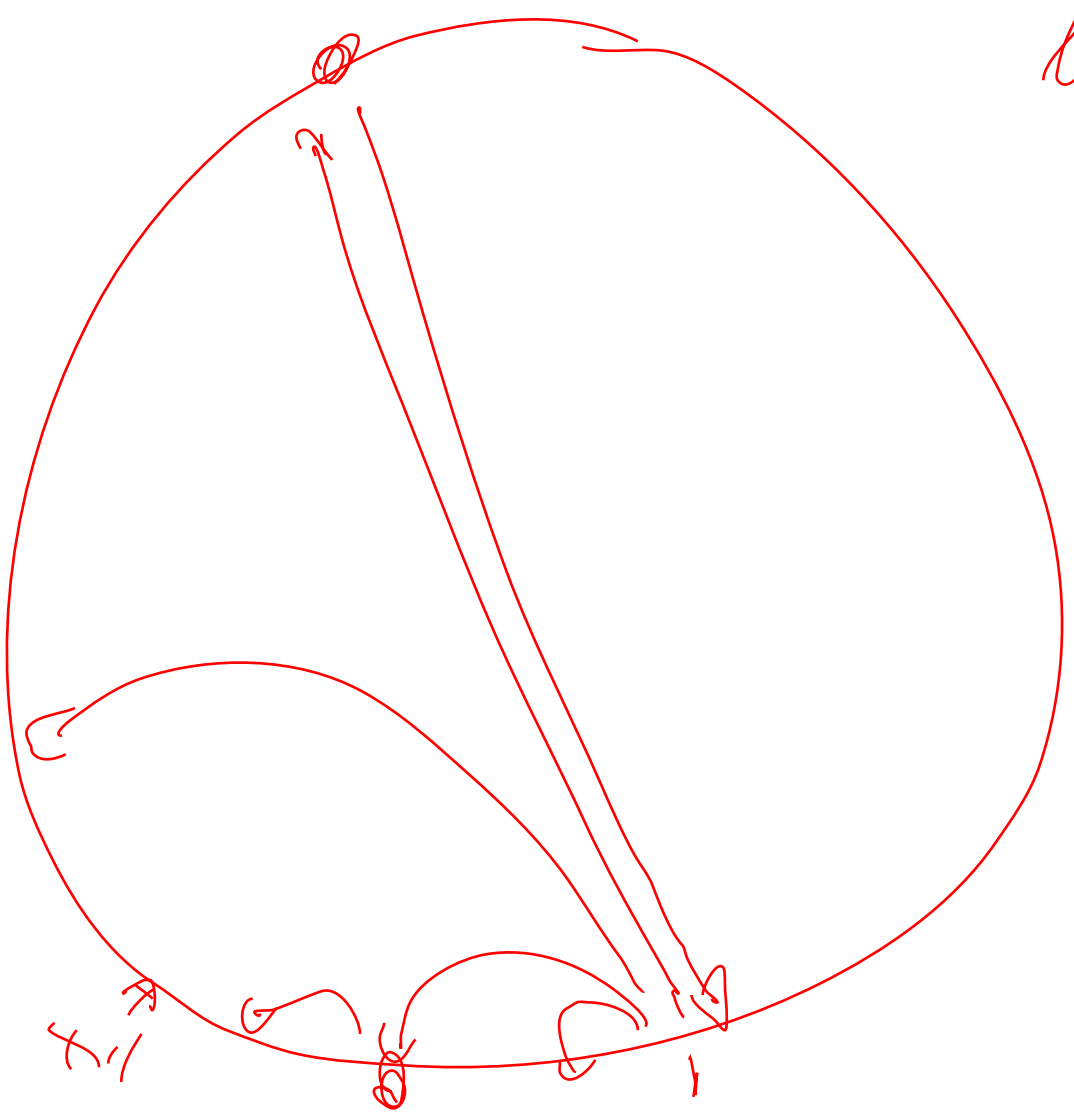
CoNe Freiburg

BitTorrent



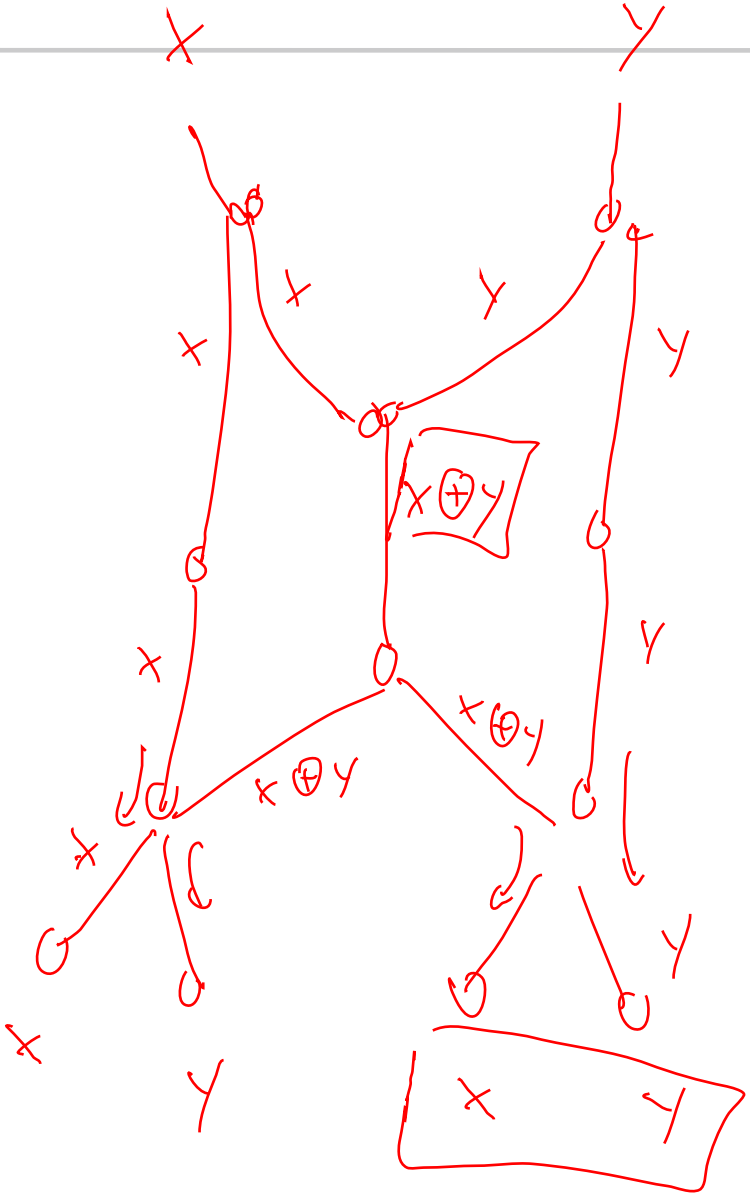
- Bram Cohen
  - BitTorrent ist ein P2P-Netzwerk für den Download von Dateien
  - Dateien werden in Blöcke aufgeteilt
  - verwendet implizit Multicast-Bäume für die Verteilung von Blöcken
- Ziele
  - schneller Download einer Datei unter Verwendung des Uploads vieler Peers
    - Upload ist der Flaschenhals
    - z.B. wegen asymmetrischen Aufbau von ISDN oder DSL
  - Fairness
    - seeders against leeches
  - Gleichzeitige Verwendung vieler Peers

1024



CoNe Freiburg

Netzwerk-Kodierung



$x \oplus x \oplus y = y$

UNI FREIBURG

CoNe Freiburg

IIF INSTITUT FÜR INFORMATIK FREIBURG

Systeme II

5. Die Anwendungsschicht

Christian Schindelhauer
Technische Fakultät
Rechnernetze und Telematik
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

UNI FREIBURG