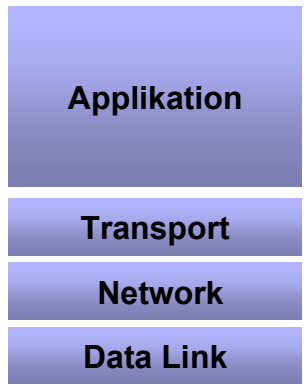
Netzwerksicherheit
Grundlagen des Internet Protocol

Stephen Wolthusen

Fraunhofer IGD Institut Graphische Datenverarbeitung

ISO/OSI und TCP/IP: Entsprechungen der Schichten in den Modellen

OSI-Referenzmodell



TCP/IP-Protokollstapel

TCP/IP (1)

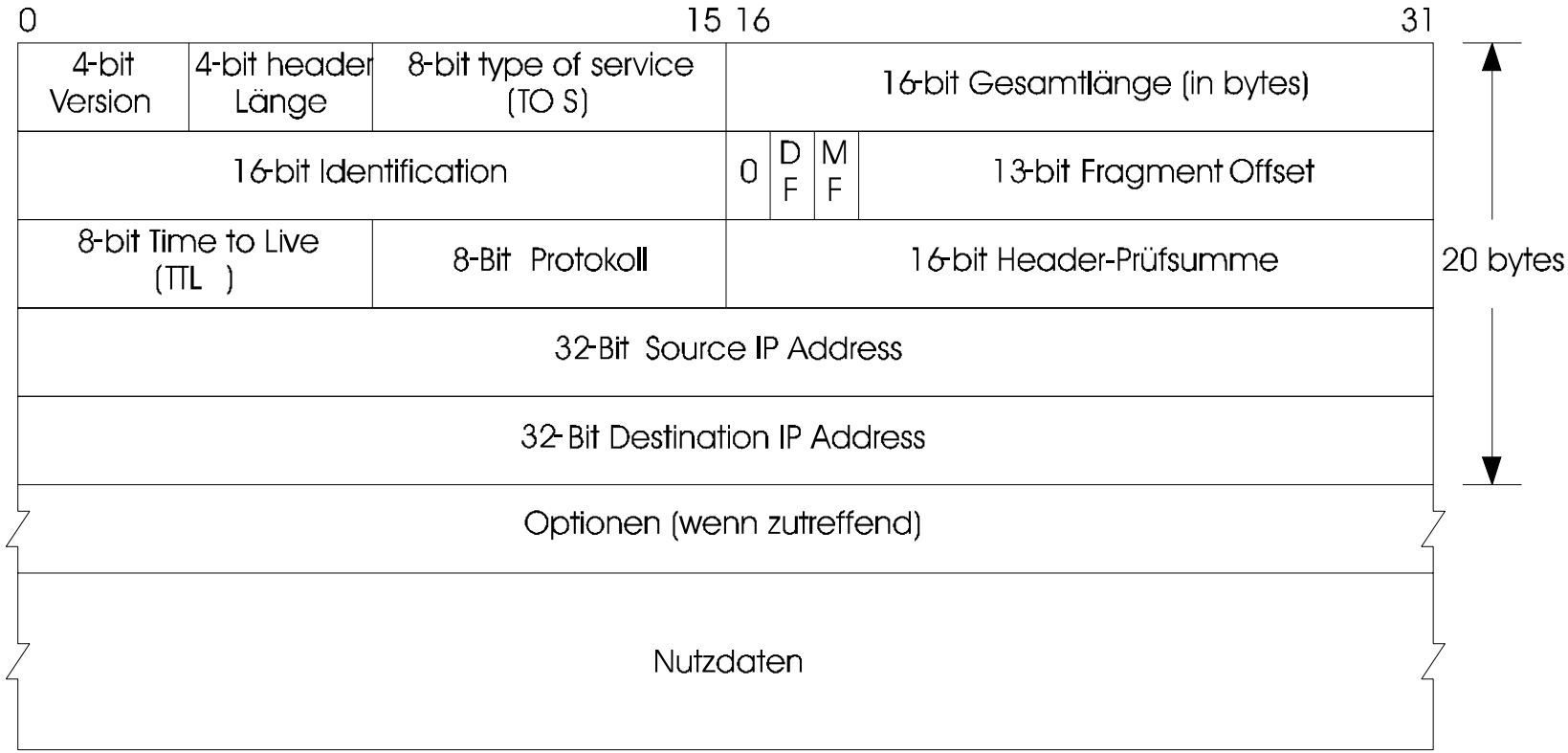
- Internet Protocol Version 4: 1981 publiziert
- IP (Internet Protocol):
  - Verbindungsloses, Best-Effort-Protokoll
  - Datenströme werden in Pakete variabler Länge unterteilt
  - Routing der Pakete (oder Paket-Fragmente) unabhängig voneinander
  - Grundlage für ICMP, IGMP, TCP, UDP
- ICMP
  - Protokoll zur Informations- und Fehlerübermittlung
  - Basiert direkt auf IP

TCP/IP (2)

- IGMP (Internet Group Management Protocol)
  - Kontrolliert Zugehörigkeit zu Multicast-Gruppen
- UDP (User Datagram Protocol)
  - Verbindungslos, Best-Effort
- TCP (Transmission Control Protocol)
  - Verbindungsorientiert
  - Stellt gegen Paketverlust-, Prüfsummen-, und Sequenzierungsfehler gesicherten Kanal zur Verfügung
  - Kann als Paar von Bytetrömen aufgefaßt werden

IP-Header (1)

IP Header Version 4



IP-Header (2)

- Big Endian
  - (Bits 0...31 in dieser Folge, „Network Byte Order“)
- x86, Alpha: Little Endian, umgekehrte Reihenfolge: „NUXI“
- Dichte Packung, Bitfelder
- Vermengung von immer benötigten und selten genutzten Feldern und Optionen - alles muß stets durch den Parser
- Version Number: 4 Bits
  - Derzeit nur 4, 6 im Einsatz
- Header-Länge: 4 Bits
  - Anzahl 32-Bit Worte inklusive Optionen, ohne Optionen: 5

IP-Header (3)

- Type of Service: 8 Bits
  - 3 Bits Precedence
  - 4 Bits TOS
    - Minimierung von Kosten (Bit 0)
    - Maximierung der Zuverlässigkeit (Bit 1)
    - Maximierung des Durchsatzes (Bit 2)
    - Minimierung der Verzögerung (Bit 3)
  - 1 Bit reserviert (muß immer 0 sein)
- Router und Hosts ignorieren diese Felder meist.

IP-Header (4)

- Gesamtlänge: 16 Bits
  - Länge des Datagramms in Bytes
- Identification: 16 Bits
  - Identifiziert jedes Datagramm für Fragmentierung
- Flags: 3 Bits
  - 1 Bit reserviert (stets 0)
  - 1 Bit DF („Don´t Fragment“)
  - 1 Bit MF („More Fragments“)

IP-Header (5)

- Fragment Offset: 13 Bits
  - Versatz des aktuellen Fragments
- Time to Live: 8 Bits
  - Eigentlich: Lebenszeit in Sekunden
  - Wird bei jedem Hop um 1 verringert, bei 0 wird Paket verworfen
- Protocol: 8 Bits
  - Verwendetes Protokoll (TCP, UDP, IGMP, ICMP...)
- Header-Prüfsumme: 16 Bits
  - 1-Komplement der 1-Komplemente der Header

IP-Header (6)

- Source IP Address: 32 Bits
- Destination IP Address: 32 Bits
- Optionen (immer auf 32 Bit ausgerichtet)
  - Sicherheits-Optionen
  - Routen-Katalogisierung
  - Zeitstempel
  - Loose Source Routing
  - Strict Source Routing

IP-Adressen in IPv4

32 Bit, geteilt in:

- NetID
- SubnetID
- HostID

Besondere Adressen:

Net ID	Subnet ID	Host ID	Quelle	Ziel
0	0	0	Ja	Nein
0	0	Host ID	Ja	Nein
127	0	*	Ja	Ja
-1	0	-1	Nein	Ja
Net ID	0	-1	Nein	Ja
Net ID	Subnet ID	-1	Nein	Ja
Net ID	-1	-1	Nein	Ja

Fragmentierung (1)

- Übertragungskanäle weisen MTU auf
  - Ethernet: 1492..1522 Bytes
  - minimal 576 Bytes
- Pakete größer 576 Bytes nur nach „Path MTU Discovery“
  - Versand von Paketen mit DF gesetzt mit jeweils erhöhter TTL
  - Wenn „Host Unreachable“, so ist für den Hop die MTU gefunden
  - Konforme Hosts geben in „Host Unreachable“ die eigene MTU an
  - PMTU kann sich mit jedem (!) Paket ändern

Fragmentierung (2)

- Fragmentierte Datagramme
  - weisen bis auf letztes Fragment ein MF-Flag auf.
  - Enthalten im Fragment Offset den Versatz vom Anfang des Datagramm-Datenfeld
  - Werden anhand Identification, Source, Destination, Protocol-Felder zusammengeführt
  - MF-Flag ist bei allen Fragmenten gesetzt, Fragment mit gleicher Identification und MF=0 beendet Fragmentierung
  - Einige Optionen (z.B. „Record Route“) sind nur im ersten Fragment vorhanden

IP-Optionen (1)

- Sicherheits-Optionen
  - RFC 1108, überholt - „Labeling“ von Datagrammen
- Routenkatalogisierung
  - Jeder Router trägt eigene Adresse ein, max. 9 Adressen
- Zeitstempel
  - ms seit Mitternacht UTC, optional mit IP-Adressen
- Source Routing
  - Loose: Router, die passiert werden sollen werden angegeben
  - Strict: Nur angegebene Router dürfen passiert werden

IP-Optionen (2)

- Vorgang Source Routing
  - Felder werden bei jedem durchlaufenen Router modifiziert
  - Als Zieladresse wird erstes Element der Options-Liste eingetragen, neue Source ist eigene Adresse
  - Alte Werte werden „nach vorn“ verschoben
  - Ursprüngliche Zieladresse wird in frei gewordenem Feld eingetragen, PTR um 4 verschoben
  - Vorgang wird wiederholt, bis PTR über das Ende des Optionsfeldes zeigt
  - Empfänger hat somit invertierte Route vorliegen

Host Routing

- Entscheidung für Host (!Router)
  - Adresse befindet sich auf direkt erreichbarem Interface
    - Versendet Paket direkt
  - Adresse nicht direkt erreichbar
    - Versand an Default Router (muß direkt erreichbar sein)

Adressierungsarten

- Unicast
  - Eindeutige Quell- und Zieladresse
- Broadcast
  - Allgemein, gerichtet an Netze, Subnetze
- Multicast
  - Multicast-Gruppen (Adreßbereich Class D: 224.0.0.0 - 239.255.255.255) mit wahlweiser Zugehörigkeit
  - Zugehörigkeit wird über IGMP bestimmt
  - Verteilung der Multicasts (Spanning Tree, Flooding) mit eigenen Routing-Algorithmen (PIM, MOSPF...)

ICMP - Internet Control Message Protocol

- Setzt direkt auf IP auf
- Besteht aus
  - IP-Header (20 Bytes)
  - ICMP-Header
    - Typ (1 Byte)
    - Code (1 Byte)
    - Prüfsumme (2 Bytes)
  - ICMP-Nutzlast
    - Optional, bis zur maximalen Paketgröße (65511 Bytes)

ICMP (2)

- ICMP-Nachrichten dürfen nie erzeugt werden
  - Als Reaktion auf eine andere ICMP-Nachricht
  - Als Reaktion auf Pakete, deren Zieladressen IP Broadcast oder IP Multicast Adressen sind
  - Als Reaktion auf Paket, das mittels Link Layer Multicast/Broadcast versandt wurde
  - Wenn die Ursache ein Paket war, dessen Ziel kein eindeutiger Host war
    - NULL-, Loopback-, Broadcast-, Multicast-Adresse

ICMP (3)

- Typ 0: Echo-Antwort (immer Code 0)
- Typ 3: Nicht erreichbar
  - 0: Netz nicht erreichbar
  - 1: Host nicht erreichbar
  - 2: Protokoll nicht erreichbar
  - 3: Port nicht erreichbar
  - 4: Fragmentierung notwendig, aber nicht erlaubt
  - 5: Source Route fehlgeschlagen
  - 6: Ziel-Netz unbekannt

ICMP (4)

- Typ 3: Nicht erreichbar
  - 7: Ziel-Host unbekannt
  - 8: Quell-Host isoliert
  - 9: Ziel-Netz administrativ nicht erreichbar
  - 10: Ziel-Host administrativ nicht erreichbar
  - 11: Netz für Diensttyp nicht erreichbar
  - 12: Host für Diensttyp nicht erreichbar
  - 13: Kommunikation durch Filter administrativ verboten
  - 14: Host-Vorrang verletzt
  - 15: Vorrang aktiv

ICMP (5)

- Typ 4: Source Quench (immer Code 0)
- Typ 5: Redirect
  - 0: Redirect für Netz
  - 1: Redirect für Host
  - 2: Redirect für Diensttyp und Netz
  - 3: Redirect für Diensttyp und Host
- Typ 6: Andere Host-Adresse (immer Code 0)
- Typ 8: Echo-Anforderung (immer Code 0)
- Typ 9: Router-Bekanntgabe (immer Code 0)

ICMP (6)

- Typ 10: Router-Anforderung (immer Code 0)
- Typ 11: Zeitüberschreitung
  - 0: TTL=0 bei Durchgang
  - 1: TTL=0 bei Fragment-Zusammensetzung
- Typ 12: Parameter-Fehler
  - 0: IP-Header fehlerhaft
  - 1: Notwendige Option nicht gesetzt
- Typ 13: Zeitstempel-Anforderung (immer Code 0)
- Typ 14: Zeitstempel-Antwort (immer Code 0)

ICMP (7)

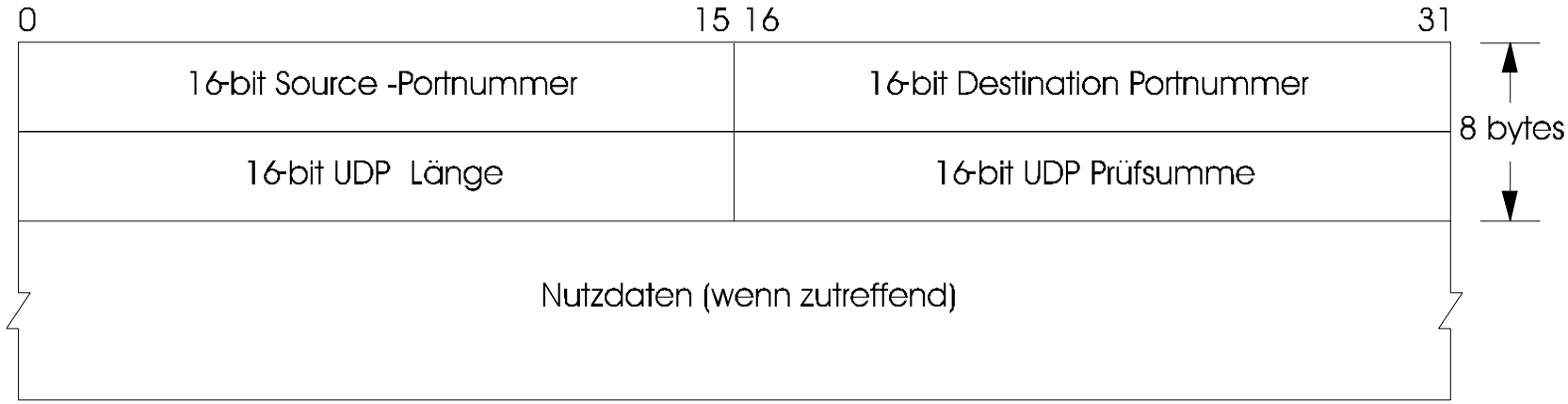
- Typ 15: Informations-Anforderung (immer Code 0)
- Typ 16: Informations-Antwort (immer Code 0)
- Typ 17: Adreßmasken-Anforderung (immer Code 0)
- Typ 18: Adreßmasken -Antwort (immer Code 0)
- Typ 30: Traceroute (immer Code 0)
- Typ 31: Datagramm-Konvertierungsfehler (immer Code 0)
- Typ 32: Umleitung mobiler Host (immer Code 0)
- Typ 33: IPv6 Where-are-you (immer Code 0
- Typ 34: IPv6 I-am-here (immer Code 0)

ICMP (8)

- Typ 35: Mobile Host Registrierungs-Anfrage (immer Code 0)
- Typ 36: Mobile Host Registrierungs-Antwort (immer Code 0)

UDP - User Datagram Protocol

UDP Header



Fraunhofer IGD Institut Graphische Datenverarbeitung

UDP-Header

- Source / Destination Port Number (jeweils 16 Bit)
  - Multiplexing von Verbindungen
- UDP Länge (16 Bit)
  - Länge von (UDP-Header + Nutzlast), Minimum: 8
- UDP-Prüfsumme (16 Bit)
  - Optional, Algorithmus wie IP-Prüfsumme
  - Prüfsumme über UDP-Header, Nutzdaten, IP-Quell und Zieladresse, Protocol, UDP-Länge
  - Wenn ungerade Anzahl Bytes: Padding mit 0
  - Bei Resultat 0: 0xFFFF (äquivalent zu 0x0, aber 0x0 reserviert)

UDP (1)

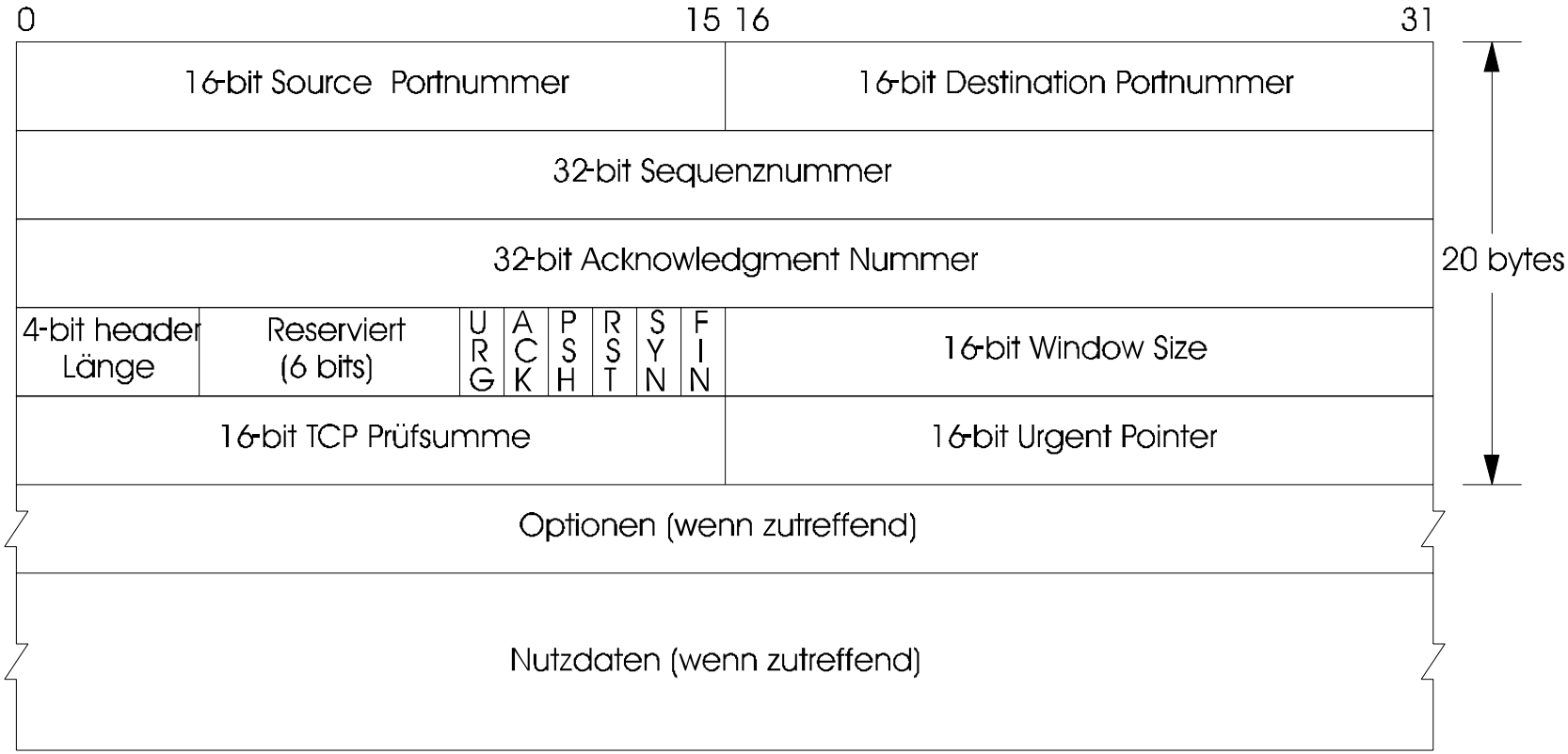
- UDP bietet wie IP nur „best effort“-Übertragung
- UDP-Datagramme werden in voller Größe an IP-Schicht gereicht
  - keine MTU-Anpassung: Fragmentierung
- Keine Bestätigung der Übertragung
  - Erhöhtes Verlustrisiko durch Fragmentierung
- Wird für Broadcast, Multicast benötigt
  - Derartige Mechanismen lassen sich nicht verbindungsorientiert realisieren

UDP (2)

- Einige Protokolle, die UDP verwenden
  - DNS
  - TFTP
  - Sun RPC (NFS, NIS, etc.)
  - SNMP
  - IKE
  - RTP

TCP - Transmission Control Protocol

TCP Header



TCP-Header (1)

- Source / Destination Port Number (jeweils 16 Bit)
  - Multiplexing von Verbindungen
- Sequenznummer (4 Bytes)
  - Laufende Nummer des ersten Bytes des Segments im Datenstrom des Senders mod 2^{32}
- Acknowledgment Nummer (4 Bytes)
  - Vom Empfänger als nächste Sequenznummer erwartetes Bytes
  - Bestätigt Empfang aller vorheriger Daten
  - nur gültig in Verbindung mit ACK-Flag

TCP-Header (2)

- Header-Länge (4 Bit)
  - Länge des TCP-Headers in 32 Bit- Worten (max. 60 Bytes)
- Reserviertes Feld (6 Bit)
  - muß mit 0-Bits aufgefüllt sein
- URG-Flag (1 Bit)
  - Urgent Pointer ist gültig
- ACK-Flag (1 Bit)
  - Acknowledgment-Sequenznummer ist gültig

TCP-Header (3)

- PSH-Flag (1 Bit)
  - Daten sollen schnellstmöglich an Anwendung übergeben werden
- RST-Flag (1 Bit)
  - Verbindung soll zurückgesetzt werden
- SYN-Flag (1 Bit)
  - Sequenznummern sollen synchronisiert werden (Verbindungsaufbau)
- FIN-Flag (1 Bit)
  - Sender will Verbindung beenden

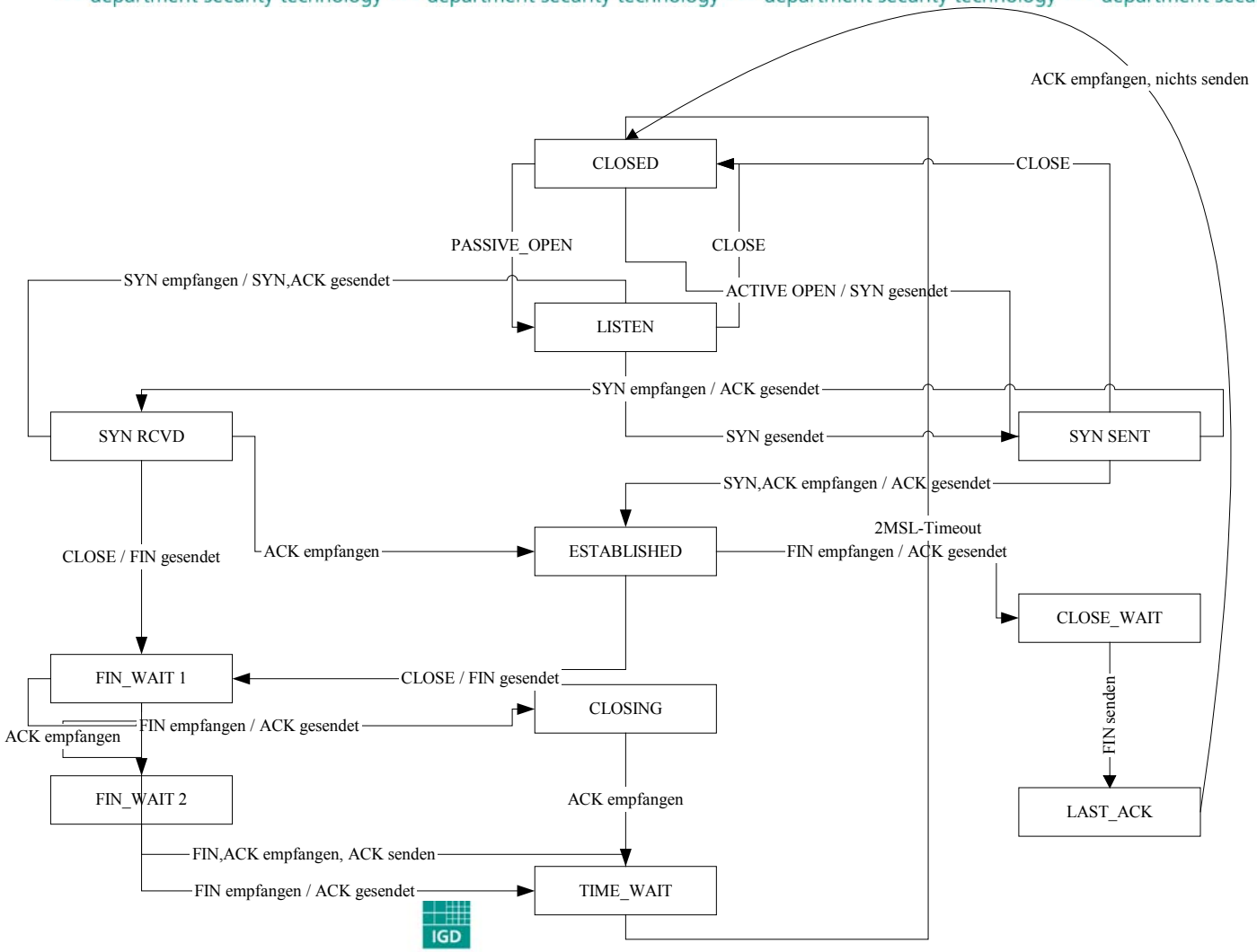
TCP-Header (4)

- Window Size (16 Bits)
  - Maximale Anzahl Bytes, die Sender ab Acknowledgment empfangen will
- TCP-Prüfsumme (16 Bits)
  - Prüfsumme über erweiterten Header - obligatorisch
- Urgent Pointer (16 Bits)
  - Offset, gerechnet von aktueller Sequenznummer, an der die dringenden Daten bei gesetztem URG stehen

TCP-Header (5)

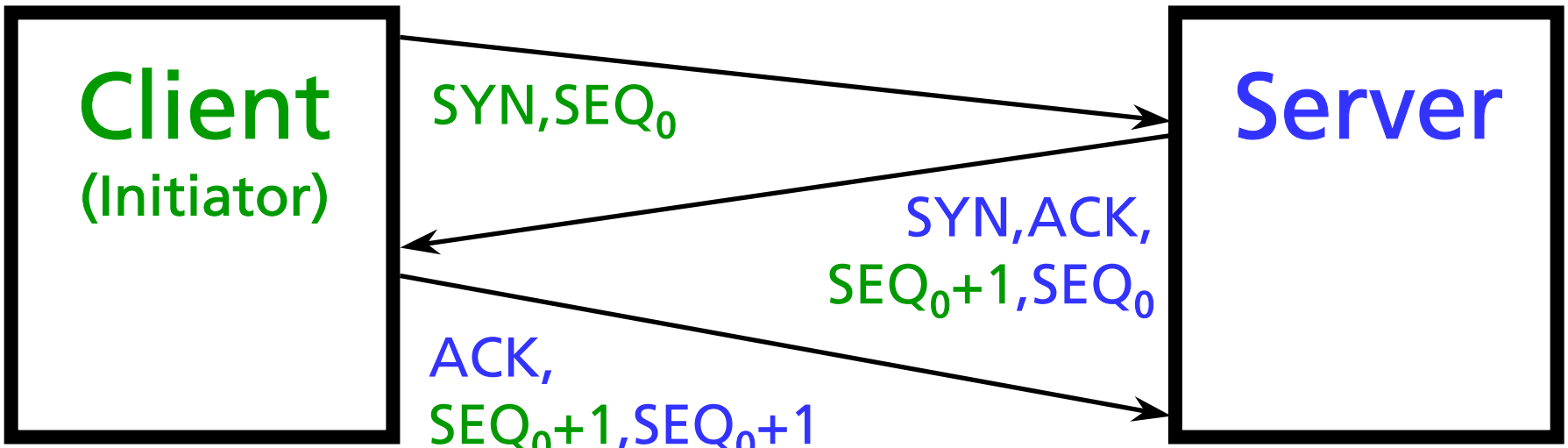
- Optionen
  - Variante 1: 1 Byte Opcode
    - End of Option List
    - No Operation
  - Variante 2: 1 Byte Opcode, 1 Byte Länge, Nutzdaten
    - Maximum Segment Size
      - Länge: 4 Bytes (16 Bit-Wert)
      - Maximale Segmentgröße, die Sender entgegennehmen will/kann

TCP-Zustandsautomat



Fraunhofer Institut Graphische Datenverarbeitung

TCP Open (normaler Vorgang)



TCP Slow Start

- Sender muß Rücksicht auf Bandbreite der Verbindung und Pufferkapazitäten entlang der Route und des Ziels nehmen
- Slow start definiert CWND „congestion window“, Initialwert ist „Segment Size“ des Empfängers
- Mit jedem empfangenen ACK wird CWND um ein Segment Size erhöht
- Sender muß Minimum von CWND und Segment Size verwenden
- Implementierung ist zwar Pflicht, aber...

Initial Sequence Numbers, Sequenznummern

- Initiale Sequenznummern einer Verbindung können beliebig gewählt werden
  - Dienen der Unterscheidung von Datenströmen
  - Aufeinanderfolgende ISNs eines Hosts sollten möglichst zufällig sein
- Hohe Bandbreite stellt ein Problem dar
    - Sequenznummer muß für Lebensdauer im Netz eines Segmentes eindeutig sein
    - Es stehen nur 32 Bit zur Verfügung - bei Laufzeiten von 2-3s und Gbit/s („slow fat pipe“) ein Problem