Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

Eexam
Sticker mit SRID hier einkleben

Hinweise zur Personalisierung:

- Ihre Prüfung wird bei der Anwesenheitskontrolle durch Aufkleben eines Codes personalisiert.
- Dieser enthält lediglich eine fortlaufende Nummer, welche auch auf der Anwesenheitsliste neben dem Unterschriftenfeld vermerkt ist.
- Diese wird als Pseudonym verwendet, um eine eindeutige Zuordnung Ihrer Prüfung zu ermöglichen.

Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme

Klausur:	IN0010 / Endterm	**Datum:**	Freitag, 31. Juli 2026
Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. Georg Carle	**Uhrzeit:**	08:00 – 09:30

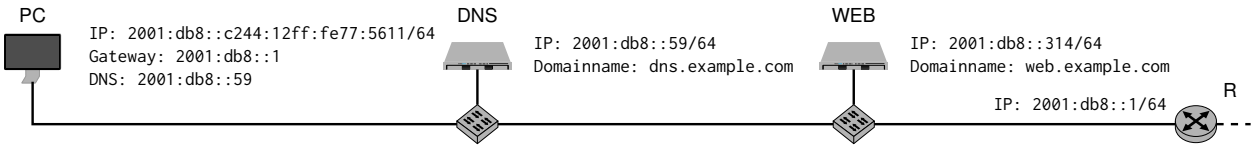
Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **16 Seiten** mit insgesamt **6 Aufgaben**.
- Die Gesamtpunktzahl in dieser Klausur beträgt 90 Punkte.
- Als Hilfsmittel sind zugelassen:
  - ein **nicht-programmierbarer Taschenrechner**
  - ein **analoges Wörterbuch** Deutsch ↔ Muttersprache **ohne Anmerkungen**
  - das der Klausur beigelegte **Cheatsheet**
- Mit * gekennzeichnete Teilaufgaben sind ohne Kenntnis der Ergebnisse vorheriger Teilaufgaben lösbar.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen der Lösungsweg erkennbar ist.** Auch Textaufgaben sind **grundsätzlich zu begründen**, sofern es in der jeweiligen Teilaufgabe nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.
- Rechenergebnisse sind grundsätzlich in für den Wert und dessen Bedeutung **sinnvollen Einheiten** anzugeben, soweit dies nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.
- Schreiben Sie weder mit roter / grüner Farbe noch mit Bleistift.
- Das Heraustrennen von Seiten aus der Prüfung ist untersagt.
- Schalten Sie alle mitgeführten elektronischen Geräte vollständig aus, verstauen Sie diese in Ihrer Tasche und verschließen Sie diese.

Hörsaal verlassen von _____ bis _____ / Vorzeitige Abgabe um _____

Aufgabe 1 All in One (17.5 Punkte)

Im Folgenden betrachten wir das Zusammenspiel der verschiedenen Schichten und Protokolle, wenn ein PC über HTTP ein Dokument von einem Webserver abruft. Die Topologie des IPv6-Netzwerks und die Adressen und Domänennamen der Geräte sind in untenstehender Abbildung abgedruckt. Gehen Sie davon aus, dass alle Caches leer sind. Die MTU im Netzwerk beträgt 1280 B.



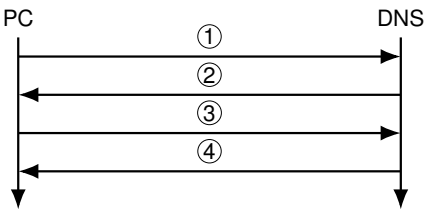
0 1 2

a)* Nennen und beschreiben Sie den Mechanismus, mit dem die IPv6-Adresse des PC erzeugt wurde. Markieren Sie dazu alle vier Bestandteile der IPv6-Adresse.

Name:

Beschreibung: `2001:db8::c244:12ff:fe77:5611`

Der PC kennt initial nur den Domänennamen des Webservers und muss diesen erst in die IP-Adresse des Webservers auflösen. Wir betrachten also zunächst die Kommunikation mit dem DNS-Server. Dieser sei beim PC als Resolver konfiguriert und zudem für die Domain `example.com` authoritativ. Die nebenstehende Abbildung zeigt die schematische Darstellung der gesamte Kommunikation zwischen dem PC und dem DNS-Server.



0 1 2 3

b)* Vervollständigen Sie die Tabelle: Notieren Sie bei allen Nachrichten alle involvierten Protokolle über Layer 3 (nicht also Ethernet und IPv6) und beschreiben Sie kurz den Inhalt bzw. Zweck der Nachricht.

Nachricht	Protokoll(e)	Typ	Inhalt bzw. Zweck
①	ICMPv6/NDP	Neighbor Solicitation	Anfrage der MAC-Adresse des DNS-Servers mit der bekannten IP-Adresse
②			
③			
④			

0 1 2

c)* Bestimmen Sie die Zieladresse, die im IPv6 Header der Neighbor Solicitation steht und beschreiben Sie, wie die Adresse erzeugt wird.

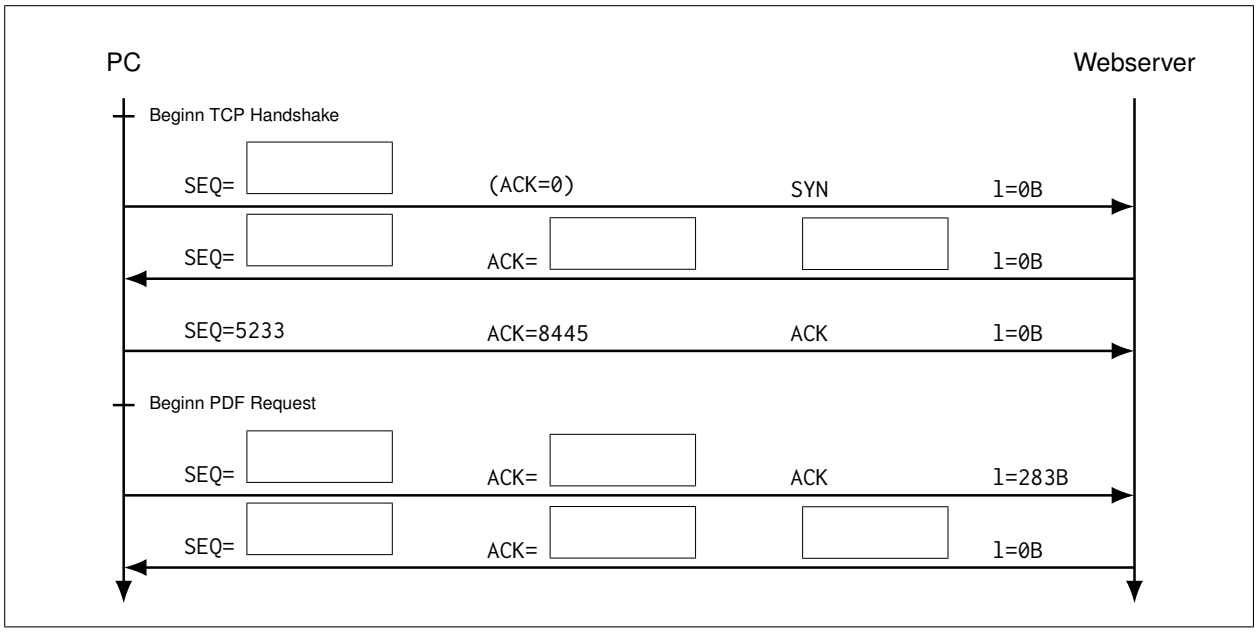
Adresse:

Beschreibung:

Nachdem der PC nun die IP-Adresse des Webservers hat, baut er eine TCP-Verbindung mit dem Webserver auf, um eine `pdf`-Datei herunter zu laden. Die Datei habe eine Größe von 42 KiB. Zunächst betrachten wir den Verbindungsaufbau und die 283 B lange Anfrage für die Datei.

d)* Ergänzen Sie im folgenden Diagramm die fehlenden Sequenz- und Acknowledgementnummern sowie die gesetzten Flags.

0 1 2 3



e)* Nennen Sie das HTTP Kommando das üblicherweise für eine solche Anfrage verwendet wird. (ohne Begründung)

0 ½

f)* Berechnen Sie die im Netzwerk maximal mögliche Maximum Segment Size (MSS). Gehen Sie davon aus, dass keine Optionen oder Extension Header verwendet werden.

0 1

g) Berechnen Sie die Anzahl der Segmente, die nötig sind, um den reinen Dateiinhalt zu senden. Vernachlässigen Sie Verbindungsauf- und -abbau, die Anfrage und Acknowledgements.

0 1

h)* Begründen Sie, ob der Server beim Senden der Segmente fragmentieren muss. Bedenken Sie, dass im Netzwerk eine niedrigere MTU als sonst üblich verwendet wird.

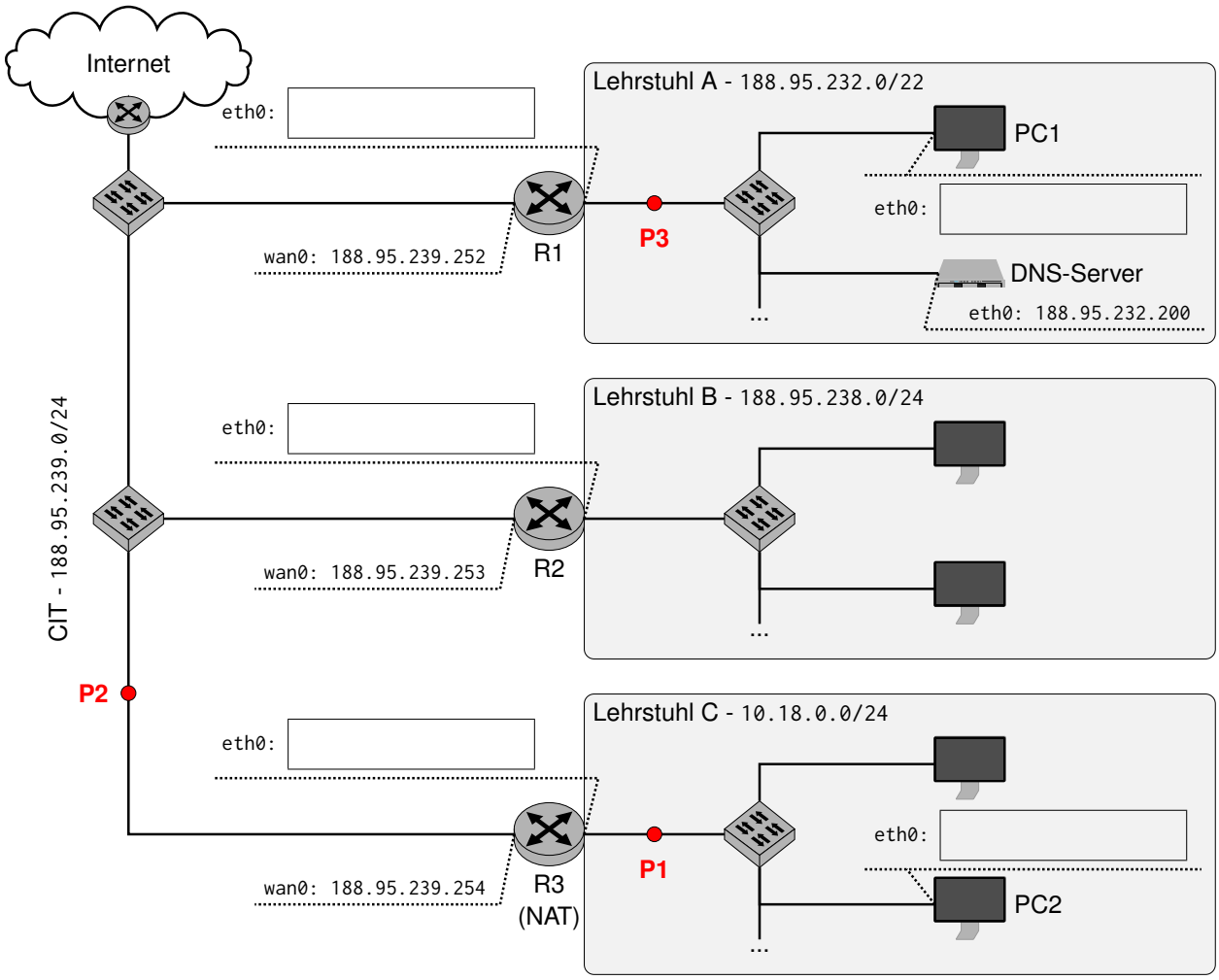
0 1 2

Aufgabe 2 CIT Chairlink (15 Punkte)

In dieser Aufgabe konfigurieren Sie interne Netzwerke von und zwischen Lehrstühlen der *School of Computation, Information and Technology*. Alle Netzwerke verwenden öffentliche IPv4-Adressen, mit Ausnahme des Netzwerks von *Lehrstuhl C*. Dort wird ein privater Adressbereich verwendet und R3 implementiert NAT.

0 1 2

a)* Weisen Sie den noch unkonfigurierten Interfaces in der Topologie gültige IP-Adressen zu. Beachten Sie die jeweiligen Adressbereiche! Router sollten die letzte nutzbare Adresse eines Netzwerks erhalten.



0 1

b)* Berechnen Sie die Anzahl nutzbarer Hostadressen im Netzwerk von *Lehrstuhl A*.

Um die Netze kleinschrittig aufzuteilen wird *Classless Inter-Domain Routing* (CIDR) mit expliziter Präfixlänge verwendet. Ursprünglich wurde bei *Classful Routing* die Präfixlänge allerdings anders bestimmt.

0 1 2

c)* Beschreiben Sie, wie die Präfixlänge bei *Classful Routing* bestimmt wurde. Bestimmen Sie außerdem die Adressklasse des Netzwerk, das *Lehrstuhl B* zugewiesen ist.

Beschreibung:

Adressklasse:

Nun möchte ein Mitglied von *Lehrstuhl C*, das an **PC2** arbeitet, auf den DNS-Server von *Lehrstuhl A* zugreifen. Damit dies funktioniert, müssen die Router R1 und R3 konfiguriert werden.

d)* Tragen Sie in den Routingtabellen von R1 bzw. R3 alle notwendigen Einträge ein, sodass allgemein zwischen den beiden Lehrstuhlnetzen kommuniziert werden kann.
Hinweis: Es gibt mehr Zeilen als benötigt.

0 1 2 3 4 5

Ziel	Next Hop	Iface

Routingtabelle von R1

Ziel	Next Hop	Iface

Routingtabelle von R3

Nachdem die Routen konfiguriert sind, sollte alles funktionieren. Um dies zu überprüfen, untersuchen Sie die DNS-Anfrage, **die von PC2 zum DNS-Server gesendet wird**, an verschiedenen Punkten im Netzwerk.

e)* Vervollständigen Sie die folgende Tabelle: Notieren Sie die Adressen, Ports und TTL für die **Anfrage** an den Punkten P1, P2 und P3.
Hinweise:

- Verwenden Sie die Notation *Gerät.Interface*, um auf die MAC/IP-Adresse eines Geräts zu verweisen.
- Bei Geräten mit nur einem Interface können Sie das Interface weglassen.
- Gehen Sie davon aus, dass der NAT-Router den Port in jedem Fall ändert.
- Falls ein Wert in dieser Aufgabe nicht genau definiert ist, wählen Sie einen sinnvollen Wert!

0 1 2 3 4

Feld	P1	P2	P3	*Zusätzl. Spalte*
Quell-MAC			R1.eth0	
Ziel-MAC			DNS-Server	
Quell-IP				
Ziel-IP			DNS-Server	
TTL			126	
Quell-Port				
Ziel-Port				

Aufgabe 3 **Wireshark (11.5 Punkte)**

Gegeben sei der Anfang eines IPv6-Pakets (**ohne Ethernet Header** und FCS) aus Abbildung 3.1, welches im Folgenden analysiert werden soll.

```
0x0000   60 00 70 02 00 90 06 40    2a 00 47 00 08 00 00 00
0x0010   00 1a 02 ff fe 00 00 2c    2a 00 47 00 00 00 00 0b
0x0020   00 00 00 00 00 00 01 64    cd bc 00 50 a9 22 63 74
0x0030   66 a8 de 95 50 18 01 fb    04 1f 00 00 47 45 54 20
0x0040   2f 20 48 54 54 50 2f 31    2e 31 0d 0a 48 6f 73 ···
```

Abbildung 3.1: Anfang eines IPv6-Pakets (ohne Ethernet Header und FCS)

Beachten Sie, dass auch für die nachfolgenden Teilaufgaben im Allgemeinen Begründungen erforderlich sind. Achten Sie darauf, dass Markierungen eindeutig einzelnen Teilaufgaben zugeordnet werden können. Nicht nachvollziehbare Aussagen **werden nicht bewertet.**

0 1 a)* Bestimmen Sie den Ethertype des zugehörigen Ethernet-Headers in hexadezimaler Schreibweise.

Ethertype:	Begründung:

0 1 b)* Geben Sie die Absenderadresse auf Schicht 3 in ihrer üblichen, ggf. gekürzten Schreibweise an.

0 1 c)* Geben Sie die Empfängeradresse auf Schicht 3 in ihrer üblichen, ggf. gekürzten Schreibweise an.

0 ½ d)* Markieren Sie in Abbildung 3.1 das *Hop Limit* Feld. (ohne Begründung)

e)* Von welchem Typ ist die L4-PDU?

0 1

Typ:	Begründung:

0 1 f)* Bestimmen Sie das vermutlich verwendete Anwendungsprotokoll.

Protokoll:	Begründung:

0 g)* Gehen Sie davon aus, dass der L4-Header keine Optionen enthält. Markieren Sie in Abbildung 3.1 den Beginn der Payload im Anschluss an den L4-Header. (ohne Begründung)

h) Die Nutzdaten sind ASCII kodiert. Dekodieren Sie die ersten 5 Byte der Nutzdaten (Payload).

0
1

i) Geben Sie an, welche Funktion das gezeigte Paket auf Anwendungsebene erfüllt.

0
1

j)* Bestimmen Sie die Länge der IPv6 Payload in Byte.

Länge: Begründung:

0
1

k) Bestimmen Sie die Länge des gesamten Ethernet-Frames **inklusive FCS** in Byte.

Länge:
Begründung:

0
1

Aufgabe 4 **Behörde goes digital (13.5 Punkte)**

Eine Behörde möchte ihre interne Kommunikation von Fax auf *Fax over IP* (FoIP) umstellen. Dazu werden Dokumente als Schwarz-Weiß-Bitmap gescannt. Abbildung 4.1 stellt einen 5×10 Pixel großen Ausschnitt einer gescannten Seite dar, welcher per FoIP übertragen werden soll.

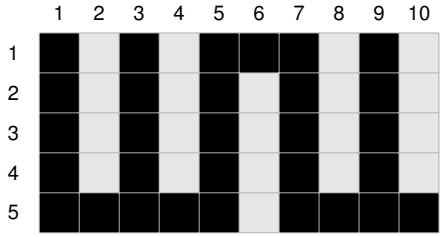


Abbildung 4.1: Ausschnitt einer gescannten Seite, bestehend aus 5 Zeilen und 10 Spalten.

Zunächst ist die Überlegung, die Daten pixelweise mit einem Zeichen für schwarz und einem Zeichen für weiß zu übertragen und dazu einen uniformen Binärcode zu verwenden.

0 1 2

a)* Bestimmen Sie den Informationsgehalt der Zeichen für ein schwarzes bzw. ein weißes Pixel, bezogen auf den Seitenausschnitt.

Um die Übertragung effizienter zu gestalten, werden die Dokumente nicht direkt als Bitmap versendet, sondern zuvor zeilenweise lauflängenkodiert. Dazu wird nicht mehr jedes Pixel einzeln kodiert, sondern die Anzahl konsekutiver gleicher Pixel als Zeichen genutzt. Die Anzahl der Pixel wird auf Buchstaben abgebildet. Weiße Pixelfolgen werden mit Kleinbuchstaben, und schwarze Pixelfolgen mit Großbuchstaben dargestellt. So steht `a` für einen weißen Pixel und `C` für drei schwarze Pixel. Es können also maximal 26 Pixel in einer Folge kodiert werden.

0 1

b)* Geben Sie die Buchstabenfolge an, die die **erste Zeile** des Ausschnitts kodiert.

Eine DIN A4 Seite ist 21 cm breit (dies entspricht etwa 8,27 in). Der Scan wird mit einer Auflösung von 300 dpi (*dots per inch*, also Pixel pro Inch) durchgeführt.

0 1 2

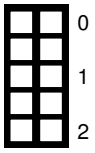
c)* Wie viele Zeichen werden mindestens benötigt, um eine Zeile zu kodieren?

Nach der Lauflängenkodierung müssen die Zeichen für die Übertragung noch binär kodiert werden. Dies geschieht mit eines Huffman-Codes.

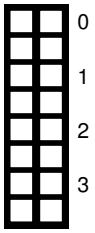
d) **Zeichen der Lauflängenkodierung**	d) **Abs. Häufigkeit**	f) **Binäres Huffman-Codewort**

Tabelle 4.1: Zeichen der Lauflängenkodierung mit Huffman-Codewörtern. Es gibt mehr Zeilen als im Seitenausschnitt auftretende Zeichen.

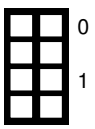
d)* Notieren Sie in Tabelle 4.1 alle Zeichen, die verwendet werden, um den Seitenausschnitt zu beschreiben. Notieren Sie außerdem die absolute Häufigkeit der Zeichen.



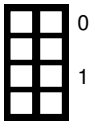
e) Konstruieren Sie für die Zeichen aus Tabelle 4.1 den Huffman-Baum im Lösungsfeld. Ordnen Sie die Zeichen initial alphabetisch mit Kleinbuchstaben vor Großbuchstaben.



f) Nutzen Sie den Huffman-Baum um die binären Codewörter für die Zeichen zu erzeugen und notieren Sie diese ebenfalls in Tabelle 4.1.



g) Begründen Sie ob der Huffman-Baum eindeutig ist, oder ob es alternative Lösungen gibt.



Aufgabe 5 **Multiple Choice (18 Punkte)**

Kreuzen Sie richtige Antworten an ☒
Kreuze können durch vollständiges Ausfüllen gestrichen werden ■
Gestrichene Antworten können durch nebenstehende Markierung erneut angekreuzt werden ×■

Die folgenden Teilaufgaben sind Multiple Choice / Multiple Answer, d. h. es ist jeweils mind. eine Antwortoption korrekt. Standardmäßig ist jede Teilaufgabe mit einem Punkt bewertet. Abweichungen davon sind in der jeweiligen Teilaufgabe notiert. Die minimale Punktzahl pro Teilaufgabe beträgt 0 Punkte. Wenn mehr als eine Antwortoption richtig ist, aber nicht alle richtigen Antwortoptionen ausgewählt wurden, gibt es Teilpunkte auf die Teilaufgabe. Falsch gesetzte Kreuze negieren richtig gesetzte Kreuze. Fehlende Kreuze haben keine Auswirkung.

a)* Was ist die Serialisierungszeit eines Bits bei 10-BASE-T?

- ☐ 100 µs
- ☐ 1 s
- ☐ 1 ms
- ☐ 100 ms
- ☐ 10 ms
- ☐ 1 µs
- ☐ 1 ns
- ☐ 10 ns
- ☐ 100 ns
- ☐ 10 µs

b)* Sie wollen über einen passiven Hub zwei PCs mit 10-BASE-T Netzwerkkarten ohne Auto-Crossover-Funktion verbinden. Welche Kabel werden hierfür üblicherweise verwendet?

- ☐ Zwei Straight-Through-Kabel
- ☐ Zwei Koaxialkabel
- ☐ Zwei Crossover-Kabel
- ☐ Zwei Glasfaserkabel (optisch)

c)* Welche Aussagen zum Thema Zeichenkodierung sind korrekt?

- ☐ UTF-8 ist ein Fixed-Length Code
- ☐ ASCII-kodierter Text ist valides UTF-8
- ☐ UTF-8-kodierter Text ist immer valides ASCII
- ☐ ASCII ermöglicht das Darstellen von Umlauten
- ☐ UTF-8 ist ein Variable-Length Code
- ☐ Die in ASCII und Unicode kodierbaren Zeichen sind identisch

d)* Welche well-known Portnummer wird in der Regel für ein ICMP Echo Request verwendet?

- ☐ 8
- ☐ `0x0806`
- ☐ `0x0800`
- ☐ `0x3a`
- ☐ `0x86dd`
- ☐ Nicht anwendbar
- ☐ 0
- ☐ `0x01`

Sie wollen die Nachricht `1010 0110 0001 1000` mit einer CRC-Checksumme unter Verwendung des Reduktionspolynoms $r(x) = x^6 + x^3 + x + 1$ sichern.

e)* Wie viele Bit werden für die Checksumme benötigt?

- ☐ 16
- ☐ Anderer Wert
- ☐ 5
- ☐ 7
- ☐ 6

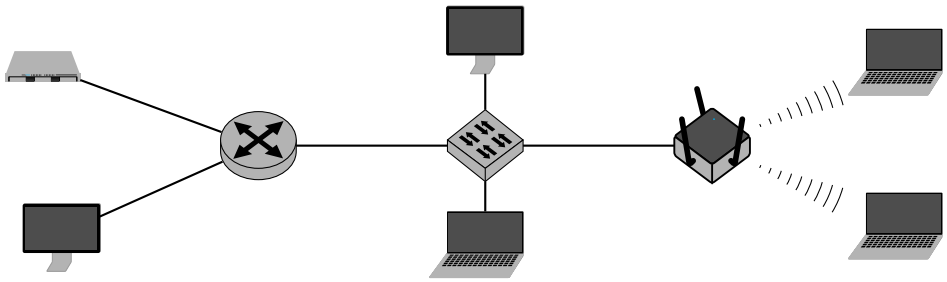


Abbildung 5.1: Beispieltopologie

f)* Wie viele Kollisionsdomänen besitzt die Topologie in Abbildung 5.1?

- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10
- ☐ 11
- ☐ 3
- ☐ 5
- ☐ 4

Listing 1: Programmentwurf

```
import socket
server_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.①, socket.IPPROTO_TCP)
server_socket.bind(('131.159.20.5', ②))
server_socket.③(④)
client_socket = server_socket.accept()
print("Client verbunden")
m = server_socket.recv(2049)
server_socket.close()
print("Payload empfangen: " + m.decode('utf-8'))
```

In Listing 1 ist ein an die Codedemos angelehnter Programmentwurf gegeben. Das Programm soll mit normalen Nutzerrechten unter Linux laufen und eine Nachricht über einen TCP-Socket empfangen und ausgeben.

g)* Welcher der folgenden Werte/Ausdrücke passt im Kontext der Aufgabe in Platzhalter ①?

- ☐ `SOCK_RAW`
- ☐ `SOCK_DGRAM`
- ☐ `SOCK_STREAM`
- ☐ `SOCK_SEQPACKET`

h)* Welcher Wert passt im Kontext der Aufgabe in Platzhalter ②?

- ☐ 9587
- ☐ 915
- ☐ 65537
- ☐ 65536

i)* Welche Funktion passt im Kontext der Aufgabe in Platzhalter ③?

- ☐ `sniff`
- ☐ `select`
- ☐ `accept`
- ☐ `open`
- ☐ `sendmsg`
- ☐ `recvmsg`
- ☐ `listen`
- ☐ `wait_for_conn`

j) Welche der folgenden Ausdrücke passt im Kontext der Aufgabe in Platzhalter ④?

- ☐ `socket.select`
- ☐ `42`
- ☐ `server_socket.getpeername()`

Nach dem Füllen der Lücken testen Sie das Programm durch Ausführen des folgenden Befehls mit normalen Nutzerrechten wobei **`[PORTNUMMER]`** für eine korrekte Portnummer steht (vgl. Teilaufgabe h)):
`echo 'Hello World' | nc '131.159.20.5' [PORTNUMMER]`

k) **2 Punkte**: Welche der folgenden Aussagen zum beobachteten Verhalten treffen zu?

- ☐ Das Programm gibt die Zeile „Client verbunden“ aus.
- ☐ Das Programm beendet sich fehlerfrei.
- ☐ Das Programm gibt nichts auf der Standardausgabe aus.
- ☐ Das Programm startet nicht, da ein normaler Benutzer aus Sicherheitsgründen nicht das Recht hat, einen Socket auf einer öffentliche erreichbaren IPv4 zu öffnen.
- ☐ Das Programm blockiert durchgehend beim `accept`-Aufruf, da die Adressfamilie sich zwischen Verbindungsversuch und Serversocket unterscheidet.
- ☐ Der `bind`-Aufruf schlägt fehl, da das erste Element des Parametertuples keine gültige IPv4 Adresse ist.
- ☐ Das Programm wirft einen Fehler und beendet sich frühzeitig.
- ☐ Das Programm gibt eine Zeile aus, die mit „Payload empfangen“ startet.

Listing 2: Zonefile

```
$TTL 604800
$ORIGIN example.home.arpa.
@ IN SOA ns.example.home.arpa admin@example.home.arpa. ( 20260629 )
@                           IN      NS      ns.example.home.arpa.
@                           IN      A       192.168.0.1
ns                          IN      A       192.168.0.1
mail                        IN      MX      postrelay1.lrz.de.
examns                      IN      A       fc00::1
exam                        IN      NS      fc00::1
web                         IN      CNAME   @
web                         IN      CNAME   grnvs.net.
1.0.168.192.in-addr.arpa.   IN      PTR     @
```

In Listing 2 ist ein teilweise fehlerhaftes Zonefile der Zone `example.home.arpa.` gegeben. Ein LLM hat mehrere Fehler identifiziert, liegt jedoch nicht vollständig richtig.

l)* **4 Punkte**: Welche der folgenden vom LLM identifizierten Probleme sind valide Fehler?

- ☐ Die selbe IP-Adresse (192.168.0.1) darf in der selben Zone nicht mehrfach vergeben sein
- ☐ Es fehlt je ein A-Record für die CNAME-Ziele von „`web`“ in dieser Zone
- ☐ Die E-Mailadresse des Hostmasters darf kein „`@`“ enthalten
- ☐ Der Master/Primary Nameserver des SOA-Records ist kein FQDN
- ☐ Der Record-Type für „`examns`“ sollte `AAAA` sein
- ☐ Es fehlt ein Teil des MX-Record Werts für „`mail`“
- ☐ Der NS-Record für „`exam`“ verweist auf eine IPv6-Adresse, obwohl es ein FQDN sein müsste
- ☐ Der CNAME-Record für „`web`“ verweist auch auf „`grnvs.net.`“, was nicht in der Zone definiert ist
- ☐ „`web`“ darf höchstens einen CNAME Record besitzen
- ☐ Der MX-Record für „`mail`“ verweist auf eine Domain („`lrz.de.`“) außerhalb der Zone
- ☐ Die `serial` muss zwingend eine negative Zahl sein
- ☐ Der PTR-Record muss in der Reverse-Zone liegen. Die Reverse-Auflösung wird so nicht funktionieren
- ☐ Es fehlt der für jede Zone verpflichtende TXT-Record mit Link auf das Impressum
- ☐ Der erste Record nach „`@ IN NS`“ müsste mit „`@. IN NS`“ beginnen
- ☐ Es fehlen mehrere Felder im Wert des SOA Records (z.B. `retry`)

m)* Sie bekommen das Präfix `3e02:c7a9:700::/44` delegiert. Welche(r) der folgende(n) Reverse DNS FQDN(s) entsprechen/entspricht diesem Präfix?

- ☐ `3.e.0.2.c.7.a.9.0.7.0.ip6.arpa.`
- ☐ `0.7.0.9.a.7.c.2.0.e.3.ip6.arpa.`
- ☐ `0.0.7.0.9.a.7.c.2.0.e.3.ip6.arpa.`
- ☐ `3.e.0.2.c.7.a.9.0.7.0.0.ip6.arpa.`

Sie wollen folgende zwei Routingtabelleneinträge mit identischem Next Hop und Interface zusammenfassen: 10.2.0.0/15 und 10.3.88.128/25.

n)* Zu welchem Präfix sind die beiden Präfixe zusammenfassbar?

- ☐ 10.0.0.0/8
- ☐ 10.3.88.0/24
- ☐ 10.2.0.0/16
- ☐ 10.2.0.0/15
- ☐ Nicht zusammenfassbar
- ☐ 10.3.88.128/26
- ☐ 10.2.0.0/14
- ☐ 10.3.88.128/25
- ☐ 0.0.0.0/0

Aufgabe 6 Controller-Pilot Data Link Communications (14.5 Punkte)

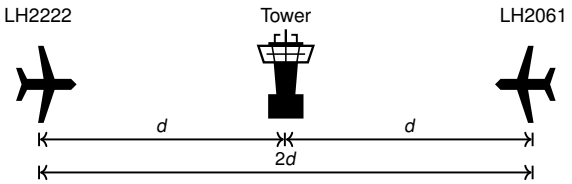
In der Luftfahrt verlässt man sich auch heutzutage auf mündliche Kommunikation mittels Funk, damit vor allem Fluglotsen und Piloten gemeinsam eine sichere Flugabwicklung garantieren können. Für diesen Funkverkehr setzt man UKW-Funk ein – spezifisch ist hierfür der Frequenzbereich von 118,000 MHz bis 136,975 MHz vorgesehen, welcher in mehrere Kanäle unterteilt wird.

a)* Wie viele Kanäle sind bei einer Kanalbandbreite von 25 kHz nutzbar?

0 1 2

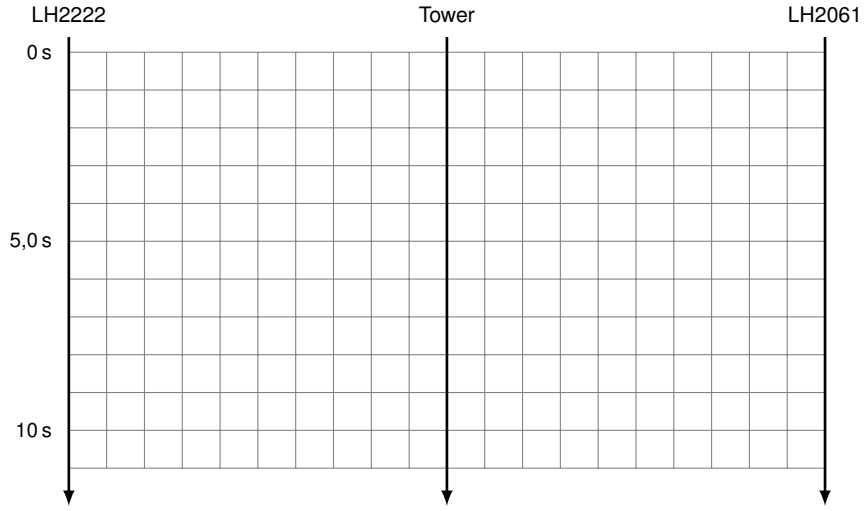
Wir betrachten nun zwei Flugzeuge im Zuständigkeitsraum eines Flughafens, welche sich gleich weit weg vom Tower auf einer Luftlinie befinden. Beide wollen den Tower auf *der selben Frequenz* kontaktieren. Die Ausbreitungsverzögerung zwischen Flugzeug und Tower beträgt 1 s.

Nachricht von	LH2222	LH2061
Nachrichtenbeginn	1 s	1 s
Sendedauer	3 s	7 s



b)* Vervollständigen Sie anhand der obenstehenden Informationen das Weg-Zeit-Diagramm.
Hinweis: Zeichnen Sie nicht mit Bleistift. Falls Sie den zusätzlichen Vordruck auf der Folgeseite verwendet haben, kreuzen Sie „Zusätzlicher Vordruck“ an. Dann wird *nur* der zusätzliche Vordruck gewertet.

0 1 2



☐ Zusätzlicher Vordruck soll gewertet werden (Der obenstehende Vordruck wird **nicht** gewertet)

0
1

c) Begründen Sie **kurz** welche Nachricht der Fluglotse aufnehmen und verstehen wird.

Im Flugverkehr setzt man außerdem CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communications) ein. Dies erlaubt eine text-basierte Kommunikation zwischen den Fluglotsen und den Piloten. Dabei können die Fluglotsen den Piloten Anweisungen (zum Beispiel über Routen-, Geschwindigkeits- oder Frequenzänderungen) geben, diese wiederum können mittels CPDLC die Anweisungen bestätigen und Anfragen stellen.

0
1

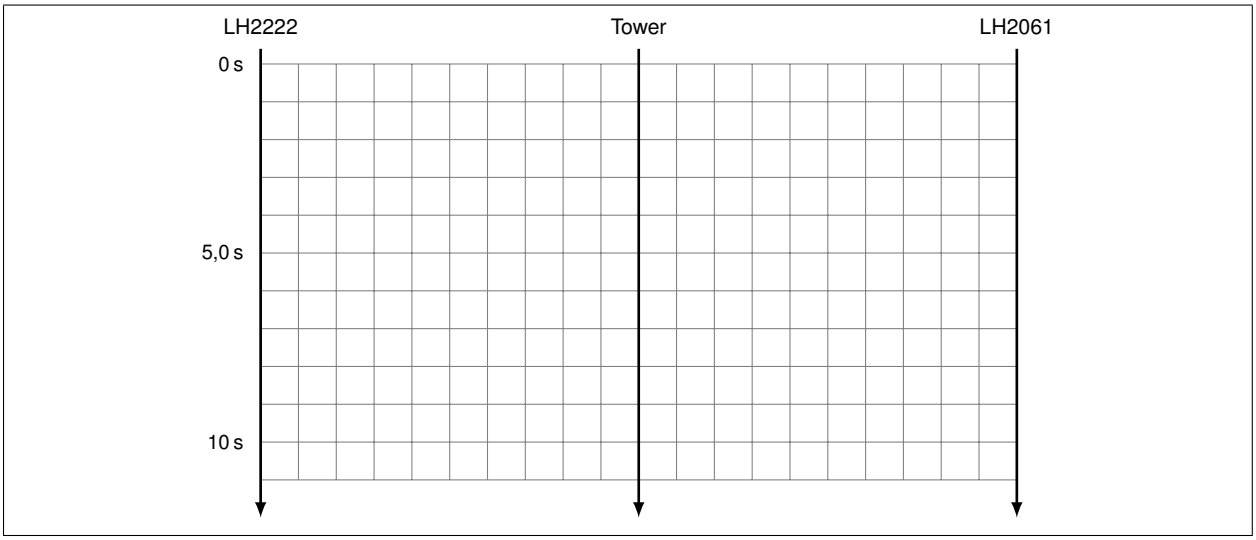
d)* Nennen und beschreiben Sie einen Vorteil einer solchen textbasierten Kommunikation in diesem Kontext.

Wir nehmen eine Kanalbandbreite von jeweils 8,33 kHz an. Durch schwankende Wetterbedingungen liegt im Schnitt ein Signal-Rausch-Verhältnis von 30 dB vor.

0
1
2

e)* Berechnen Sie die theoretisch maximal erreichbare Datenrate pro Kanal nach Shannon.

Zweiter Vordruck für Teilaufgabe b):



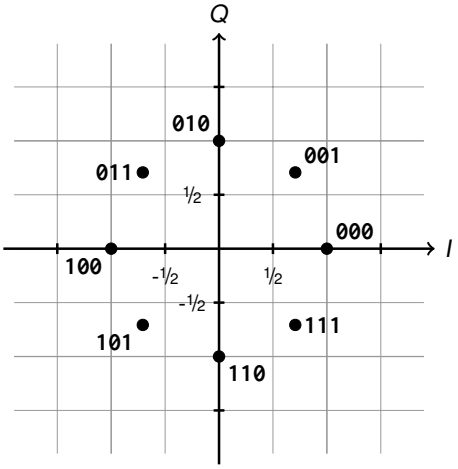


Abbildung 6.1: Konstellationsdiagramm für CPDLC

f)* Welches Modulationsverfahren ist in Abbildung 6.1 abgebildet? (ohne Begründung)

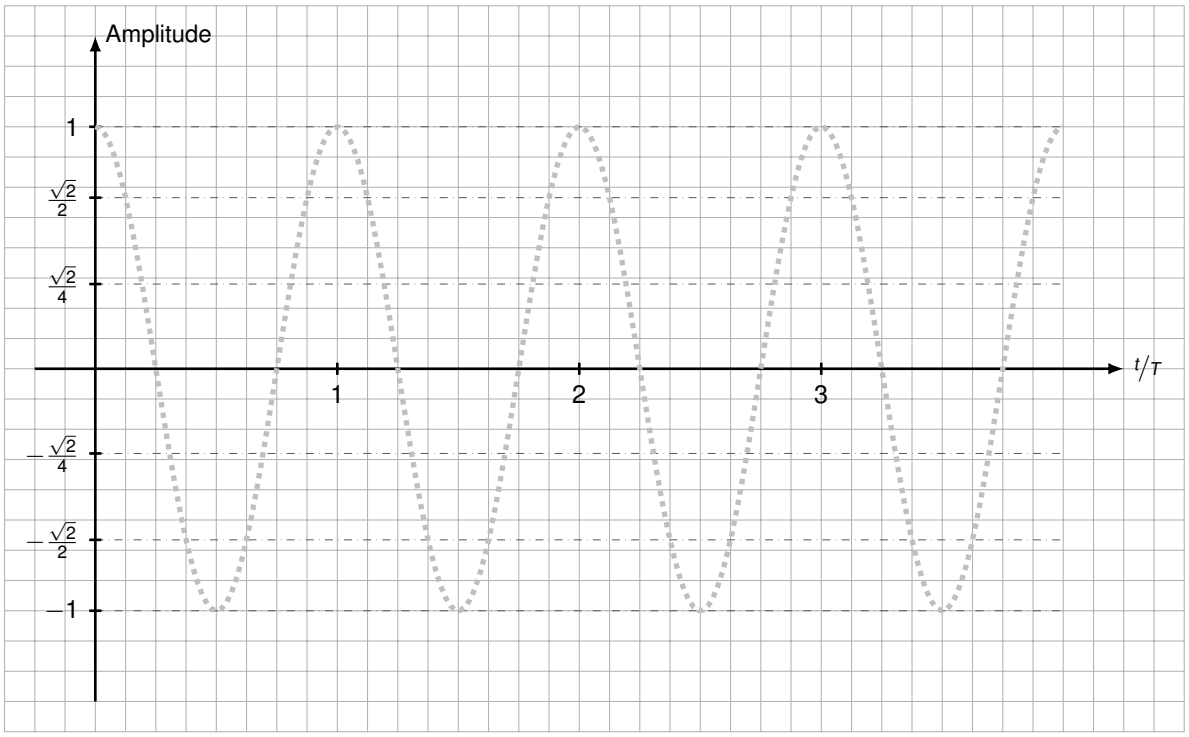
0 1

g)* Begründen Sie kurz, ob es sich um einen Gray-Code handelt.

0 1

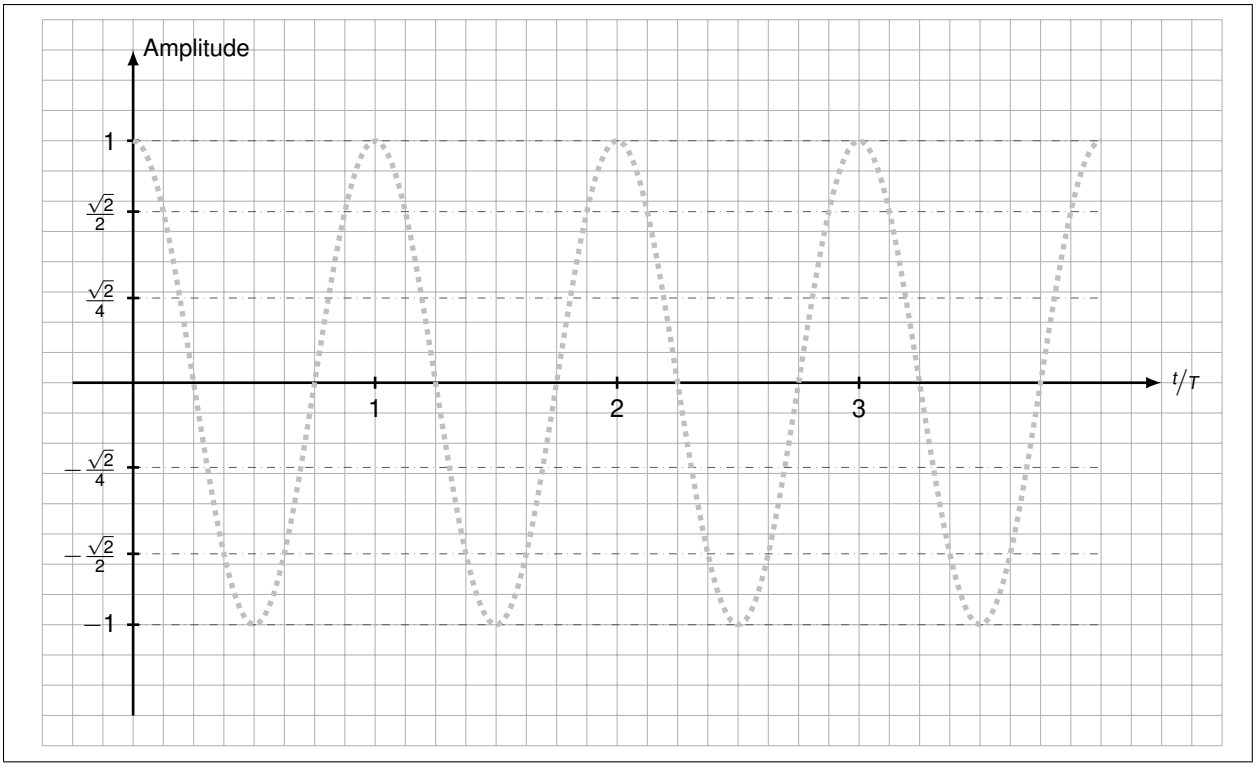
h)* Es wird nun die Bitfolge `000 110 011` übertragen. Zeichnen Sie das modulierte Gesamtsignal ein.
Hinweise: Das bereits abgebildete Signal entspricht dem Inphase-Trägersignal. Zeichnen Sie nicht mit Bleistift. Falls Sie den zusätzlichen Vordruck auf der Folgeseite verwendet haben, kreuzen Sie „Zusätzlicher Vordruck“ an. Dann wird *nur* der zusätzliche Vordruck gewertet.

0 1 2 3 4



☐ Zusätzlicher Vordruck soll gewertet werden (Der obenstehende Vordruck wird **nicht** gewertet)

Zweiter Vordruck für Teilaufgabe 6h):



Zusätzlicher Platz für Lösungen. Markieren Sie deutlich die Zuordnung zur jeweiligen Teilaufgabe. Vergessen Sie nicht, ungültige Lösungen zu streichen.