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

Esolution
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 / Retake	**Datum:**	Montag, 5. Oktober 2026
Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. Georg Carle	**Uhrzeit:**	14:00 – 15:30

Lösungsvorschlag

Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **16 Seiten** mit insgesamt **7 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 und auf zwei Nachkommastellen zu runden, soweit es 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 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 mindestens 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)* Auf einem 45 m langen 10BASE-T Link wird ein 1500 B großer Rahmen verschickt. Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung.

- ☐ 22,5 ns
- ☐ 2,25 µs
- ☒ 225 ns
- ☐ 150 ns
- ☐ anderer Wert
- ☐ 1,2 ms
- ☐ 45 µs
- ☐ 22,5 µs

b)* Welche Ziel-MAC-Adresse wird für einen Ethernet-Rahmen verwendet, der ein ARP-Request enthält?

- ☐ die MAC-Adresse des anfragenden Hosts
- ☐ `00:00:00:00:00:00`
- ☒ `ff:ff:ff:ff:ff:ff`
- ☐ die MAC-Adresse des nächsten Switches
- ☐ die MAC-Adresse des Default Gateways
- ☐ die MAC-Adresse des gesuchten Hosts

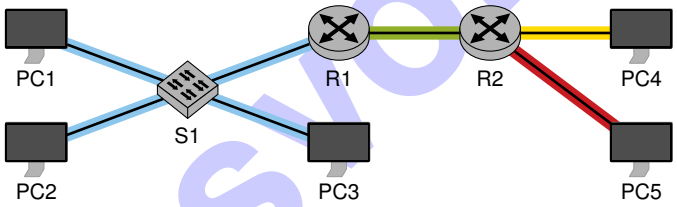


Abbildung 1.1: Netzwerktopologie

c)* Wie viele Broadcastdomänen besitzt die Topologie in Abbildung 1.1?

- ☐ 8
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 2
- ☐ 5
- ☐ 3
- ☒ 4
- ☐ 15
- ☐ 1

d)* In Abbildung 1.1 sendet PC1 einen Rahmen, der an die MAC-Adresse von PC3 adressiert ist. Die Weiterleitungstabelle des Switches ist leer. An welche Geräte leitet S1 diesen Rahmen weiter?

- ☒ nur an PC2, PC3 und R1
- ☐ nur an PC2 und PC3
- ☐ nur an R1
- ☐ an kein Gerät
- ☐ nur an PC3
- ☐ an PC1, PC2, PC3 und R1

e) In Abbildung 1.1 antwortet PC3 anschließend mit einem Rahmen, der an PC1 adressiert ist. An welche Geräte leitet S1 diesen Rahmen weiter?

- ☐ nur an R1
- ☐ an PC1, PC2, R1 und R2
- ☐ nur an PC1 und PC2
- ☐ an kein Gerät
- ☐ nur an PC1, PC2 und R1
- ☒ nur an PC1

f)* Ein Signal mit dem Wertebereich $I_Q = [-512, 512]$ wird linear mit einer Auflösung von 8 bit quantisiert. Wie groß ist der maximale Quantisierungsfehler innerhalb von I_Q?

- ☐ 4
- ☐ 64
- ☐ anderer Wert
- ☒ 2
- ☐ 8
- ☐ 256
- ☐ 0,5
- ☐ 1

Lösungsvorschlag

g)* Welche(s) Merkmal(e) hat ein abgetastetes, aber noch nicht quantisiertes analoges Signal?

- [x] zeitdiskret
- [x] wertkontinuierlich
- [ ] zeitkontinuierlich
- [ ] wertdiskret

Ein Benutzer ruft über eine TCP-Verbindung zum Server `grnvs.net` auf Port 80 manuell eine Webseite ab. In Listing 1 stammen die ersten beiden Zeilen sowie die Leerzeile vom Benutzer, danach folgt die Antwort des Servers.

Listing 1: Mitschnitt der HTTP-Sitzung mit `grnvs.net`

```
① /index.html HTTP/1.1
Host: grnvs.net

HTTP/1.1 ② OK
③: 17780
Content-Type: text/html

<!DOCTYPE html> ...
```

h)* Welche HTTP-Methode passt im Kontext der Aufgabe in Platzhalter ① in Listing 1?

- [ ] PULL
- [x] GET
- [ ] FETCH
- [ ] READ
- [ ] POST

i)* Welcher Statuscode passt im Kontext der Aufgabe in Platzhalter ② in Listing 1?

- [ ] 404
- [ ] 301
- [x] 200
- [ ] 100
- [ ] 418
- [ ] 500

j)* Welcher Header-Name passt im Kontext der Aufgabe in Platzhalter ③ in Listing 1?

- [ ] TTL
- [ ] Checksum
- [x] Content-Length
- [ ] Window-Size
- [ ] MTU
- [ ] Port

k)* Welche Datenrate erreicht 16-ASK bei einer Bandbreite von $B = 10\,\text{MHz}$ maximal (nach Hartley)?

- [ ] 5 Mbit/s
- [ ] 10 Mbit/s
- [ ] 20 Mbit/s
- [ ] 160 Mbit/s
- [ ] anderer Wert
- [ ] 40 Mbit/s
- [x] 80 Mbit/s
- [ ] 320 Mbit/s

l)* Was ist der Typ dieses Wertes bzw. dieser Adresse? `8d:24:ad:ee:7f:ef:42:57`

- [ ] IPv4-Adresse
- [ ] IP Identifier
- [ ] Port Nummer
- [ ] MAC-Adresse
- [x] IPv6-Adresse
- [ ] keine der Optionen

m)* **2 Punkte**: Welche Aussage(n) zu Fluss- und Staukontrolle bei TCP treffen zu?

- [ ] Während des Slow Start wächst das Staukontrollfenster linear um ein Segment pro RTT.
- [x] Die Flusskontrolle schützt den Empfänger vor Überlastung.
- [ ] Eine Bestätigung mit ACK = $m + 1$ bestätigt ausschließlich das Segment mit SEQ = m.
- [ ] Die Größe des Staukontrollfensters kann dem Sender im TCP-Header mitgeteilt werden.
- [x] Das Sendefenster ist das Minimum aus Staukontrollfenster und Empfangsfenster.
- [x] Das Empfangsfenster wird dem Sender im TCP-Header mitgeteilt.
- [x] Die Staukontrolle schützt das Netz vor Überlastung.
- [ ] Nach einem Timeout wird das Staukontrollfenster halbiert.

Lösungsvorschlag

n)* Sie verwalten den Adressbereich `131.159.32.0/22` und wollen genau diesen Bereich per Reverse DNS abbilden. Wie viele getrennte Reverse Lookup Zones unter `in-addr.arpa.` benötigen Sie mindestens?

☐ 1 ☐ 256 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 22

o)* Wie viele `/64`-Subnetze enthält ein IPv6-Präfix der Länge `/56` maximal?

☐ 65536 ☒ 256 ☐ 4096 ☐ 128

☐ 56 ☐ 512 ☐ 8 ☐ 64

p)* **2 Punkte:** Welche IPv4-Headerfelder werden **garantiert** geändert, wenn ein Paket über mehrere Hops geroutet wird?

☐ Identification ☐ Fragment Offset ☐ Protocol

☐ Destination IP Address ☒ TTL ☒ Header Checksum

☐ Type of Service ☐ Version ☐ IHL

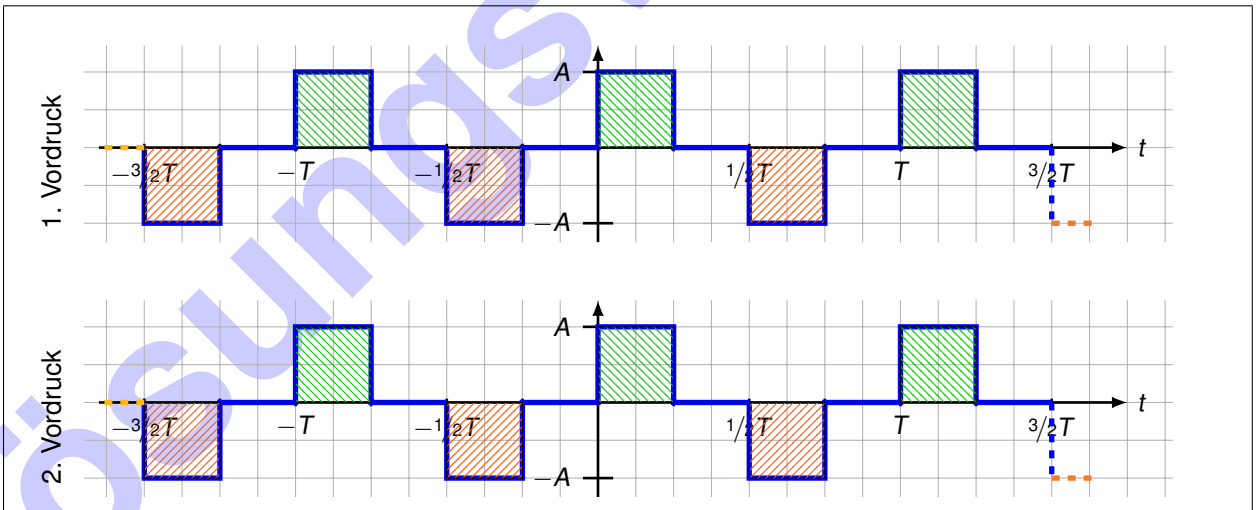
Aufgabe 2 Frequenzanalyse eines 100BASE-TX Idle-Signals (10.5 Punkte)

In dieser Aufgabe wollen wir das Spektrum eines vereinfachten 100BASE-TX Idle-Signals (ohne Scrambling[1]) bestimmen. Das Idle-Signal $s(t)$ besteht aus periodischen Wiederholungen des Grundimpulses $g(t)$, der zwischen $-T/2$ und $T/2$ definiert ist.

$$g(t) = \begin{cases} -A & \text{wenn } -T/2 \leq t < -T/4 \\ A & \text{wenn } 0 \leq t < T/4 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

0 1

a)* Zeichnen Sie das **periodische Signal** $s(t)$ in folgendes Koordinatensystem ein. Verwenden Sie keinen Bleistift. Wenn der zweite Vordruck bewertet werden soll, kennzeichnen Sie dies mithilfe der Checkbox.



☐ Der **zweite** Vordruck soll gewertet werden (der obere Vordruck wird **nicht** gewertet).

0 1 2

b)* Ermitteln Sie den Gleichanteil von $s(t)$ durch Rechnung oder Begründung.

Die Flächen über der t-Achse und unterhalb der t-Achse sind gleich groß (grün und orange schraffierte Flächen). Somit ist der Wert 0 die beste konstante Approximation des Signals $s(t)$.

$a_0 = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cdot \cos(0 \cdot \omega t)\,dt = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{-T/4} -A\,dt + \int_{0}^{T/4} A\,dt = \frac{2}{T}\left(-\frac{AT}{4} + \frac{AT}{4}\right) = 0$

Der Gleichanteil $\frac{a_0}{2}$ ist somit 0.

Lösungsvorschlag

c)* Bestimmen Sie die Kosinusanteile a_k des Signals $s(t)$.
Hinweis: Es sind zur Darlegung des Lösungswegs etwa 5 bis 6 passende Zwischenschritte notwendig. Beachten Sie die Nachdifferenzierung bei der Integration.

0 1 2 3 4 5 6 7

$$a_k = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} s(t)\cos(k\omega t)\,dt$$

$$= \frac{2}{T}\left[\int_{-T/2}^{-T/4} -A\cdot\cos(k\omega t)\,dt + \underbrace{\int_{-T/4}^{0} 0\cdot\cos(k\omega t)\,dt}_{=0} + \int_{0}^{T/4} A\cdot\cos(k\omega t)\,dt + \underbrace{\int_{T/4}^{T/2} 0\cdot\cos(k\omega t)\,dt}_{=0}\right]$$

$$\overset{1}{=} \frac{2A}{T}\left[-\int_{-T/2}^{-T/4}\cos\left(\frac{2\pi k}{T}t\right)dt + \int_{0}^{T/4}\cos\left(\frac{2\pi k}{T}t\right)dt\right]$$

$$\overset{2}{=} \frac{2AT}{2\pi kT}\left(-\left[\sin\left(\frac{2\pi k}{T}t\right)\right]_{-T/2}^{-T/4} + \left[\sin\left(\frac{2\pi k}{T}t\right)\right]_{0}^{T/4}\right)$$

$$\overset{3}{=} \frac{A}{\pi k}\left(-\left[\underbrace{\sin\left(\frac{2\pi k}{T}\frac{-T}{4}\right)}_{=\sin\left(-\frac{k\pi}{2}\right)} - \underbrace{\sin\left(\frac{2\pi k}{T}\frac{-T}{2}\right)}_{=\sin(-k\pi)}\right] + \left[\underbrace{\sin\left(\frac{2\pi k}{T}\frac{T}{4}\right)}_{=\sin\left(\frac{k\pi}{2}\right)} - \underbrace{\sin\left(\frac{2\pi k}{T}\cdot 0\right)}_{=\sin(0)=0}\right]\right)$$

$$\overset{4}{=} \frac{A}{\pi k}\left(\underbrace{-\sin\left(-\frac{k\pi}{2}\right)}_{=-\sin\left(\frac{k\pi}{2}\right)} + \underbrace{\sin(-k\pi)}_{=0} + \sin\left(\frac{k\pi}{2}\right)\right)$$

$$\overset{4}{=} \frac{2A}{\pi k}\sin\left(\frac{k\pi}{2}\right) = \begin{cases} \frac{2A}{\pi k} & \text{für } k \equiv 1 \mod 4 \\ -\frac{2A}{\pi k} & \text{für } k \equiv 3 \mod 4 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

1. Definition von $\omega = \frac{2\pi}{T}$ angewandt und Faktor A aus den Integralen gezogen.
2. Bilden der Stammfunktion: $\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{T}{2\pi k}\sin\left(\frac{2\pi k}{T}t\right)\right) = \cos\left(\frac{2\pi k}{T}t\right)$. Vorfaktor wegen Nachdifferenziern nicht vergessen. Der Vorfaktor wird aus allen Termen rausgezogen nach vorne.
3. Die Grenzen werden in die Stammfunktion eingesetzt und vereinfacht.
4. Ausdrücke mit trigonomischen Vereinfachungen vereinfachen:
   $(\sin(-x) = -\sin(x))$ und $\forall_{k\in\mathbb{Z}}\,\sin(k\pi) = 0 = \sin(-k\pi)$

Die nicht-gefragten Sinusanteile lassen sich mit analogen Rechneschritten zu folgendem Term vereinfachen: $b_k = \frac{-A}{\pi k}(\cos(k\pi) - 1)$.

Lösungsvorschlag

[1] In der Realität verwendet 100BASE-TX einen sogenannten Scrambler (und beim Empfänger einen Descrambler), um Spitzen in der elektromagnetischen Abstrahlung bei häufig wiederholten 5B Sequzenzen, wie dem Idle-Signal, zu vermindern. Laut National Semiconductor (mittlerweile Texas Instruments) kann dies die Spitzenabstrahlleistung mancher Frequenzteile um bis zu 20 dB reduzieren. Um dies besser zu verstehen und evaluieren zu können, gehen wir hier davon aus, dass hier PHYs verwendet werden, die einen Scrambler/Descrambler-Bypass unterstützen und aktiviert haben, also mit deaktiviertem Scrambler/Descrambler arbeiten. Der Scrambler XORt die 4B5B-Bitsequenzen mit einer rekonstruierbaren, zufällig-aussehnden Bitsequenz, welche mithilfe eines *linear feed-back shift registers* (LFSR) erzeugt wird.

Aufgabe 3 Signalübertragung bei Ethernet (12 Punkte)

Gegeben sei der in Abbildung 3.1 dargestellte Signalausschnitt einer Übertragung mit 10BASE-T. Bei 10BASE-T wird keine gesonderte Kanalkodierung verwendet. Als Leitungscode kommt Manchester zum Einsatz, wobei ein 1-Bit mit einer steigenden Flanke kodiert wird.

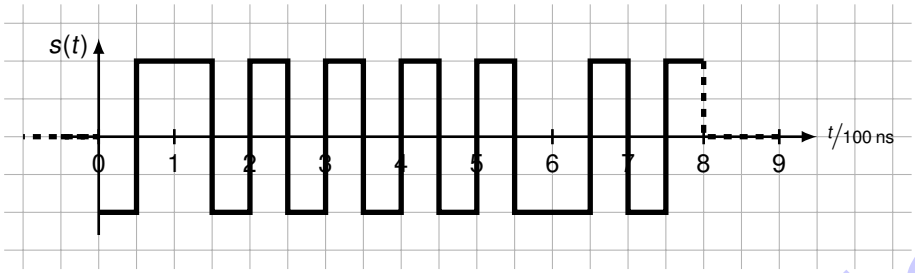


Abbildung 3.1: Signal

0 1 a)* Geben Sie die im Signal dargestellte Bitfolge an. (ohne Begründung)

10000011

0 1 b) Geben Sie die übertragenen Daten in hexadezimaler und dezimaler Schreibweise an. (ohne Begründung)
Hinweis: Die Bits eines Bytes werden bei 10BASE-T seriell übertragen, d.h. das niederwertigste Bit wird zuerst übertragen, das höchstwertige zuletzt.

Deserialisierte Bitfolge: 11000001 $\equiv$ 0xc1 = $193_{(10)}$

0 1 c)* Bestimmen Sie die Serialisierungszeit eines Bits. (Begründung oder Rechnung erforderlich!)

Laut Abbildung ist ein Manchester-Impuls 100 ns lang. Da genau ein Bit pro Manchester-Impuls übertragen wird, ist das auch die Serialisierungszeit.
Alternativ: 10-BASE-T hat eine Datenrate von $r = 10\,\text{Mbit/s}$, womit die Bitserialisierungszeit $\frac{1\,\text{bit}}{10\,\text{Mbit/s}} = 0{,}1\,\mu\text{s} = 100\,\text{ns}$

Größere Datenmengen müssen auf mehrere Rahmen verteilt übertragen werden. Die maximal möglichen Nutzdaten pro Rahmen sind 1500 B (L2-SDU). Hinzu kommen 8 B Präambel/SFD, der Ethernet-Header, und die 4 B FCS. Zwischen zwei Rahmen muss eine *Inter Packet Gap* von mindestens 9,6 µs eingehalten werden. Dies entspricht etwa der Zeit, die zur Serialisierung von 12 B notwendig ist.

0 1 d)* Bestimmen Sie die effektive Datenrate bei voller Rahmenauslastung.

$L_t = (8 + 14 + 1500 + 4 + 12(\text{für IPG}))\text{B} = 1538\,\text{B}$

$L_u = 1500\,\text{B}$

$$r = 10\,\text{Mbit/s} \cdot \frac{L_u}{L_t} = 10\,\text{Mbit/s} \cdot \frac{1500}{1538} =\approx 9{,}75\,\text{Mbit/s}$$

Lösungsvorschlag

e)* Beschreiben Sie den Unterschied von Symbolrate und Bitrate am Beispiel von Manchester.

0 1 2

Die Symbolrate gibt die Anzahl der Symbole pro Sekunde an, die ein einem Signal auftauchen. Ein Symbol ist i.d.R. ein konstanter Zeitabschnitt in dem ein konstanter Pegel gehalten wird. Im Fall von Manchester besteht ein Grundimpuls aus zwei Symbolen. Da ein Grundimpuls genau ein Bit kodiert, sind zwei Symbole nötig um ein Bit darzustellen.

f) Berechnen Sie die Symbolrate bei 10BASE-T in der Einheit Baud (bd).

0 1

$$f_S = \frac{1}{1/2 \cdot 100\,\text{ns}} = 20\,\text{Mbd}$$

In einer störanfälligen Umgebung kommt experimentell zusätzlich Kanalkodierung zum Einsatz, um eine höhere Robustheit zu erzielen. Der *Encoder* teilt die Nutzdaten in 24 bit große Datenworte und übersetzt diese in 32 bit lange Kanalwörter. Die MTU beträgt konventionell 1500 B. Es werden insgesamt $L = 193\,\text{KiB}$ Nutzdaten übertragen.

g)* Berechnen Sie die nun mögliche Menge an Nutzdaten *pro Rahmen* in Byte.

0 1

$$L_{\text{Rahmen,max,neu}} = \left\lfloor \frac{1500\,\text{B}}{32\,\text{bit}} \right\rfloor \cdot 24\,\text{bit} = 1125\,\text{B}$$

Alternativ: $L_{\text{Rahmen,max,neu}} = 1500\,\text{B} \cdot \frac{24\,\text{bit}}{32\,\text{bit}}$

h)* Berechnen Sie die Anzahl der Kanalwörter, die für die Übertragung der Nutzdaten nötig sind.

0 1

$$L = 193\,\text{KiB} = 197\,632\,\text{B}$$

$$N_{\text{Kanalw}} = \left\lceil \frac{L}{k} \right\rceil = \left\lceil \frac{197\,632\,\text{B}}{24\,\text{bit}} \right\rceil = \lceil 65877,3333333333\ldots \rceil = 65878$$

i) Berechnen Sie die Anzahl der Rahmen, die insgesamt für die Übertragung der Nutzdaten nötig sind.

0 1 2

$$N_{\text{Rahmen}} = \left\lceil \frac{L}{L_{\text{Rahmen,max,neu}}} \right\rceil = \left\lceil \frac{197\,632\,\text{B}}{1125\,\text{B}} \right\rceil = 176$$

Alternativ:

$$N_{\text{Kanalw pro Rahmen}} = \left\lfloor \frac{1500\,\text{B}}{n} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{12\,000\,\text{bit}}{32\,\text{bit}} \right\rfloor = \lfloor 375,0 \rfloor = 375$$

$$N_{\text{Rahmen}} = \left\lceil \frac{N_{\text{Kanalw}}}{N_{\text{Kanalw pro Rahmen}}} \right\rceil = \left\lceil \frac{65878}{375} \right\rceil = \lceil 175,6746666666666\ldots \rceil = 176$$

Lösungsvorschlag

Aufgabe 4 Dual Stack (13 Punkte)

Wir betrachten die folgende Netztopologie. Alle Geräte nutzen sowohl IPv4 als auch IPv6. Die IPv4-Adressen werden per DHCP vergeben. Dazu ist auf dem Router R ein DHCP-Server installiert.

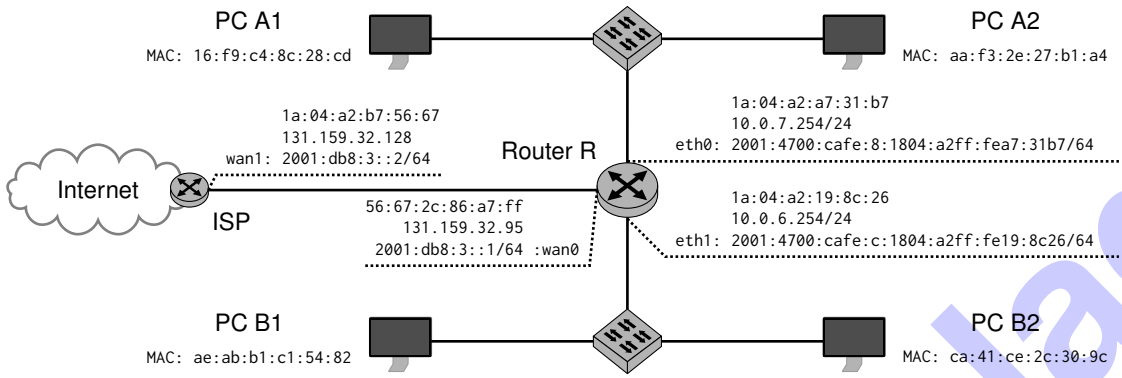


Abbildung 4.1: Netzwerktopologie

0
1

a)* Nennen Sie den genauen Adresstyp der IPv6-Adresse `2001:4700:cafe:8:1804:a2ff:fea7:31b7/64` von `R.eth0` und den Mechanismus, mit dem diese wahrscheinlich zugewiesen wurde. (ohne Begründung)

Adresstyp: IPv6 Global Unique

Mechanismus: SLAAC

Der DHCP Server auf Router R speichert zusätzlich vergebene *Leases* mit der Zuordnung zur MAC-Adresse, damit die IPv4-Adressen nicht doppelt vergeben werden. Dasselbe Gerät erhält außerdem nach Möglichkeit eine in der Vergangenheit bereits zugewiesene Adresse erneut. Die bekannten Zuordnungen sind in folgender Tabelle gegeben.

MAC-Adresse	IP-Adresse
`ca:41:ce:2c:30:9c` ← PC B2	`10.0.6.11/24`
`56:f1:a1:0d:6e:10` ← Random A	`10.0.7.114/24`
`aa:05:bf:f1:a8:54` ← Random B	`10.0.6.131/24`
`ae:ab:b1:c1:54:82` ← PC B1	`10.0.6.10/24`
`16:f9:c4:8c:28:cd` ← PC A1	`10.0.7.5/24`

0
1
2
3
4

b) Bestimmen oder vergeben Sie die IPv4 bzw. IPv6 Adressen der Geräte in folgender Tabelle. Achten Sie bei IPv4-Adressen auf die DHCP-*Leases* und bei IPv6 Adressen auf den Adresstyp. Nutzen Sie für IPv6-Adressen denselben Vergabemechanismus wie in Teilaufgabe a).

Gerät	**Adresstyp**	**Adresse**
PC A1	IPv6 *Global-Unique*	`2001:4700:cafe:8:14f9:c4ff:fe8c:28cd/64`
PC A2	IPv4	beliebige Adresse `10.0.7.x/24` mit $x \notin \{0, 5, 114, 254, 255\}$
R.eth1	IPv6 *Link-Local*	`fe80::1804:a2ff:fe19:8c26/64`
PC B1	IPv4	`10.0.6.10/24`

1. GU mittels SLAAC aus Prefix von Netz A
2. Keine MAC-Zuordnung in DHCP Tabelle → beliebige, nicht vergebene IP aus Netz A
3. LL mit EUI-64 aus GU von `R.eth1` zurückleiten
4. Adresse aus DHCP Zuordnung wieder verwenden

Lösungsvorschlag

c)* Bestimmen Sie das kleinstmögliche IPv4 Netz (Netzadresse und Präfixlänge), das für das Verbindungsnetz zwischen den Routern ISP und R (`ISP.wan1` und `R.wan0`) verwendet werden kann und begründen Sie Ihre Wahl.
Hinweis: Nutzen Sie ggf. die Binärdarstellung der Adressen für Ihre Argumentation.

0 1 2

Das jeweils letzte Oktett binär:
95 ≡ 01011111
128 ≡ 10000000
Da die ersten drei Oktette identisch sind und im letzten Oktett das höchstwertige Bit unterschiedlich ist, ist das kleinstmögliche Präfix 131.159.32.0/24.
Alternativ: 131.159.32.0/25 ist nicht möglich, da `131.159.32.128` (`ISP.wan1`) die Netzadresse des Folgenetzes wäre. Das nächstgrößere Netz ist 131.159.32.0/24 und enthält beide Adressen, da die ersten drei Oktette jeweils identisch sind.

d)* Vervollständigen Sie die Routingtabelle von Router R mit allen notwendigen Einträgen, sodass IPv6-Kommunikation zwischen allen Netzen untereinander und mit dem Internet möglich ist. Lassen Sie unnötige Einträge weg.
Hinweis: Es gibt mehr Zeilen als benötigt.

0 1 2 3 4

Ziel	Next Hop	Iface
fe80::/64	::	wan0
fe80::/64	::	eth0
fe80::/64	::	eth1
2001:4700:cafe:8::/64	::	eth0
2001:4700:cafe:c::/64	::	eth1
2001:db8:3::/64	::	wan0
::/0	2001:db8:3::2	wan0

IPv6 Routingtabelle von Router R

In einem Experiment versuchen Sie von Router R aus den Host PC A2 über IPv6 anzupingen. Bei Verwendung der *Global-Unique* Adresse werden entsprechende Antworten auf den Ping empfangen, aber bei Verwendung der *Link-Local*-Adresse schlägt der Ping fehl.

e)* Erklären Sie, warum der Ping PC A2 bei Verwendung seiner *Link-Local*-Adresse nicht erreicht und was nötig ist, um den Host erfolgreich zu pingen.

0 1 2

Erklärung: Am Router sind an allen Interfaces IPv6 Netze, also auch mehrere `fe80::/64` Netze angeschlossen. Das ausgehende Interface für das Präfix `fe80::/64` kann also nicht automatisch anhand der Routingtabelle bestimmt werden.

Lösung für erfolgreichen Ping: Es ist zusätzlich die Angabe des ausgehenden Interfaces, hier also `eth0` erforderlich.

Lösungsvorschlag

Aufgabe 5 NAT hier. (13 Punkte)

Sie wollen mit Kommilitonen ihre Heimnetzwerke verknüpfen, um eine verteilte Infrastruktur aufzubauen. Die Router, die die Heimnetzwerke mit dem Internet verknüpfen, sind jeweils NAT-fähig.
Der Internetanbieter (ISP) TUMnet, der von einigen Ihrer Kommilitonen genutzt wird, setzt Carrier-Grade-NAT ein, d.h. der ISP selbst betreibt auf seinem eigenen Router auch NAT. Zu diesem Zweck gibt es neben den privaten IP-Adressbereichen auch einen expliziten Bereich für CG-NAT: 100.64.0.0/10.

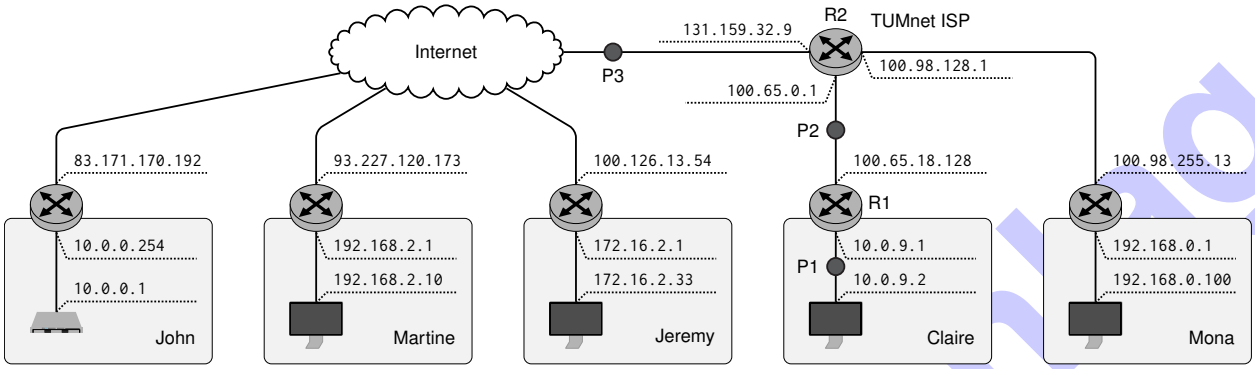


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung der Heimnetzwerke und der Verknüpfung mit dem Internet

0 1

a)* Argumentieren Sie, ob der ISP von Jeremy auch Carrier-Grade-NAT einsetzt.

☒ Ja, nutzt CG-NAT ☐ Nein, nutzt CG-NAT **nicht**

Begründung: Die IP-Adresse auf dem öffentlichen Interface seines Routers liegt auch im CG-NAT IP-Adressbereich.

Die hier betrachteten NAT-Router berücksichtigen bei TCP und UDP den lokalen sowie globalen Port, die lokale IP und das Transportprotokoll. Gehen Sie davon aus, dass lokaler und globaler Port immer unterschiedlich sind! Die NAT-Router wählen als globale Portnummer für ausgehende Verbindungen immer einen Wert größer als 1023.

0 1 2

b)* Berechnen Sie die maximal nötige Anzahl von NAT-Einträgen, die ein NAT-Router speichern können muss.

$N = (65535 - 1023) \cdot \text{TCP/UDP} = 64512 \cdot 2 = 129024$

Bei Verwendung von Carrier-Grade-NAT wird potentiell eine hohe Zahl von Verbindungen aus mehreren Netzen auf eine öffentliche IP-Adresse abgebildet. Die in Teilaufgabe b) berechnete Zahl gleichzeitiger Verbindungen kann bei CG-NAT Routern zu Engpässen führen.

0 1

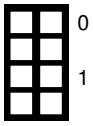
c)* Erklären Sie, wie es möglich wäre, mehr als die in Teilaufgabe b) berechnete Zahl von Verbindungen beim Carrier-Grade-NAT-Router zu ermöglichen.

Durch Aufnahme weiterer Informationen, wie der entfernten IP (bei ausgehenden Paketen: Dst IP) oder des entfernten Ports (c.f.: Dst Port).

Lösungsvorschlag

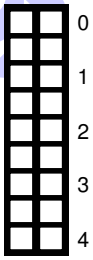
John betriebt in seinem Heimnetzwerk einen Server. Wir betrachten im Folgenden das erste Paket in einer Kommunikation zwischen Claire (Client) und dem Server von John mittels HTTPS (HTTP 2 mit TLS 1.3).

d)* Erklären Sie, welche Konfiguration John an seinem Router vornehmen muss, um den Zugriff zu ermöglichen.



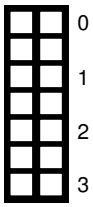
Port Forwarding in NAT-Tabelle einrichten, speziell für den Webserver mit Zielport 443 (HTTPS) TCP.

e)* Vervollständigen Sie die Tabelle mit Informationen aus dem Paket im lokalen Netz von Claire (P1) und nach Passieren des NAT-Routers R1 von Claire (P2) sowie nach dem Passieren des CG-NAT Routers R2 von TUMnet ISP (P3).
Hinweis: Nicht alle Informationen sind gegeben. Wählen Sie ggf. sinnvolle Werte!



Wert	P1	P2	P3
Src IP	10.0.9.2	100.65.18.128	131.159.32.9
Dst IP	83.171.170.192	83.171.170.192	83.171.170.192
Src Port	12345	12346	12347
Dst Port	443	443	443

f) Tragen Sie in der Tabelle die Einträge der NAT-Tabellen von Claires Router und dem ISP Router von TUMnet ein, wie sie beim Weiterleiten der Nachricht entstehen.



Router	Lokaler Port	Globaler Port	Lokale IP	Transportprot.
R1 (Claire)	12345	12346	10.0.9.2	TCP
R2 (TUMnet)	12346	12347	100.65.18.128	TCP

Lösungsvorschlag

Aufgabe 6 Wireshark (17.5 Punkte)

Gegeben sei die in Abbildung 6.1 dargestellte Topologie. PC1 versendet ein IPv6-Paket, dessen Anfang (**ohne Ethernet-Header und FCS**) in Abbildung 6.2 dargestellt ist und im Folgenden analysiert werden soll.

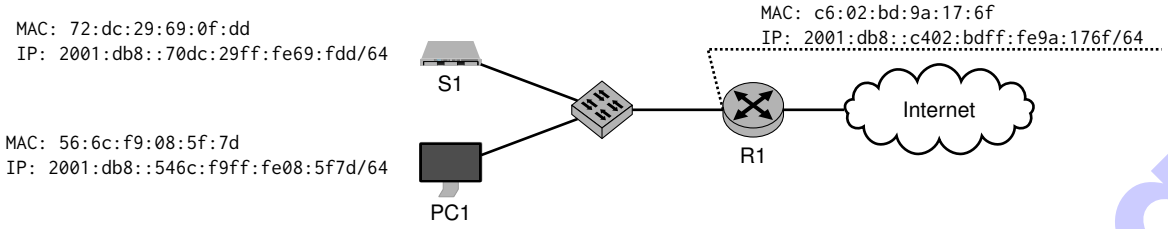


Abbildung 6.1: Netzwerktopologie

```
                                        (e)
0x0000  60 00 00 00 00 20 3a ff  20 01 0d b8 00 00 00 00
                                                  (a)
0x0010  54 6c f9 ff fe 08 5f 7d  ff 02 00 00 00 00 00 00
                  (a)                 (f)
0x0020  00 00 00 01 ff 9a 17 6f  87 00 13 32 00 00 00 00

0x0030  20 01 0d b8 00 00 00 00  ...
```

Abbildung 6.2: Anfang des von PC1 versendeten IPv6-Pakets (ohne Ethernet-Header und FCS)

Beachten Sie, dass auch für die nachfolgenden Teilaufgaben im Allgemeinen Begründungen erforderlich sind. Nicht nachvollziehbare Aussagen **werden nicht bewertet.**
Geben Sie als Referenz das bzw. die Header-Felder an, auf die sich Ihre Aussage stützt. Benennen Sie ein Feld dabei entweder durch seine Bezeichnung oder durch seinen Byte-Offset im dargestellten Paket. Die Offsets werden ab 0 gezählt, d. h. das erste dargestellte Byte hat den Offset `0x00`.

0 1 a)* Geben Sie die Empfängeradresse im IPv6-Header in ihrer üblichen, ggf. gekürzten Schreibweise an. (ohne Begründung)

`ff02::1:ff9a:176f`

0 1 b) Nennen Sie den Typ der Empfänger-IPv6-Adresse (ohne Begründung) und beschreiben Sie wie und aus welchen Bestandteilen diese erstellt wurde.

Adresstyp: Solicited-Node-Multicast-Adresse

Bestandteile/Erzeugung: Präfix `ff02::1:ff00:0/104`, ergänzt um die letzten 24 bit der IPv6-Adresse des Ziels.

0 1 c) Welches Gerät aus Abbildung 6.1 ist das Ziel dieses Pakets?

Gerät: R1 Begründung: Die letzten 24 bit der Empfängeradresse stimmen mit der IPv6-Adresse von R1 überein

0 1 d) Bestimmen Sie die Destination-MAC-Adresse des zugehörigen Ethernet-Headers.

MAC-Adresse: `33:33:ff:9a:17:6f`

Begründung: Multicast-Präfix `33:33` + letzte 4 Byte der IPv6-Empfängeradresse

Lösungsvorschlag

e)* Bestimmen Sie das im IPv6-Paket transportierte Protokoll.

0 1

Protokoll: ICMPv6 Begründung: Next Header `0x3a`

f) Welche Funktion erfüllt das aufgezeichnete Paket?

0 1

Funktion: Neighbor Solicitation – PC1 möchte die MAC-Adresse ermitteln, die zur IPv6-Adresse des Ziels gehört

Begründung: ICMPv6 Type `135` (`0x87`), Code `0`

Später sendet PC1 ein weiteres IPv6-Paket. Der Anfang dieses Pakets (**ohne Ethernet-Header und FCS**) ist in Abbildung 6.3 dargestellt und wird im Folgenden analysiert.

```
                                  (j)
0x0000  60  0e  d4  84  00  3f  06  40    20  01  0d  b8  00  00  00  00
0x0010  54  6c  f9  ff  fe  08  5f  7d    2a  00  47  00  00  00  00  0b
                                  (g) Beginn TCP-Header   (i)
0x0020  00  00  00  00  00  00  01  69  |  dc  68  00  19  26  21  a7  e5
                              (h) (k)
0x0030  de  a5  51  3b  80  10  01  fb    b3  7d  00  00  01  01  08  0a
                                  (h) Beginn Payload  (l)
0x0040  6d  c0  ef  c8  58  54  dc  be  |  52  43  50  54  20  54  4f  3a  ···
```

Abbildung 6.3: Anfang des von PC1 gesendeten IPv6-Pakets (ohne Ethernet-Header und FCS)

g)* Bei welchem Offset beginnt der im Paket enthaltene TCP-Header?

0 1

Offset: 40/`0x28` Begründung: Next Header ist `0x06` (TCP) und es gibt keine Extension Header, der TCP-Header folgt also direkt auf den 40 Byte langen IPv6-Header

h) Bei welchem Offset beginnen die im Paket enthaltenen Anwendungsdaten (Payload)?

0 1

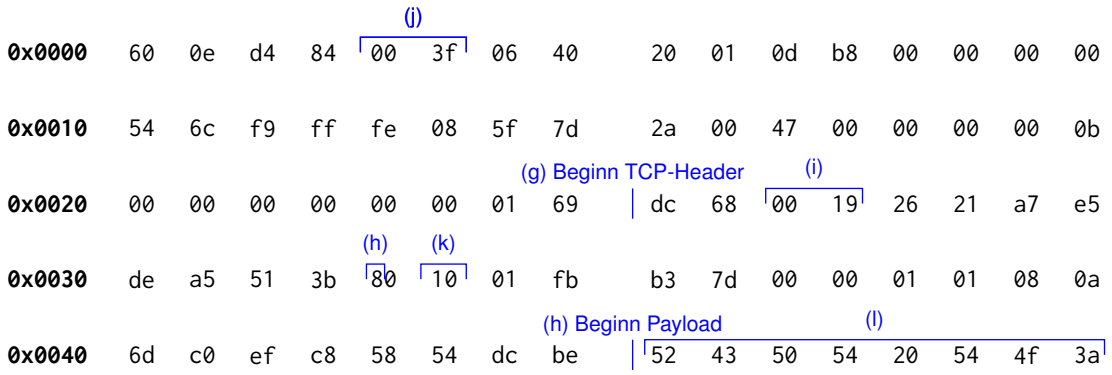
Offset: 72/`0x48` Begründung: Data Offset im TCP-Header ist `0x8` = 8 · 4 = 32 Byte, der TCP-Header enthält also Optionen (hier eine Timestamp-Option).
Die Payload beginnt bei 40 + 32 = 72 Byte

i) Bestimmen Sie das vermutlich verwendete Anwendungsprotokoll.

0 1

Protokoll: SMTP Begründung: TCP Destination Port = `0x0019` = 25

Lösungsvorschlag



Kopie von Abbildung 6.3: Anfang des von PC1 gesendeten IPv6-Pakets (ohne Ethernet-Header und FCS)

0 1

j) Bestimmen Sie die Länge der in diesem Paket enthaltenen Anwendungsdaten in Byte.

Länge: 31 Byte

Begründung: IPv6 Payload Length (63 Byte) − TCP-Headerlänge (Data Offset · 4 Byte)

0 1

k) Ist dieses Paket Teil des Verbindungsaufbaus oder des Verbindungsabbaus der TCP-Verbindung?

☐ Verbindungsaufbau ☐ Verbindungsabbau ☒ Weder noch

Begründung: Flags-Byte (Offset `53`) = `0x10`, also nur ACK gesetzt, weder SYN (`0x02`) noch FIN (`0x01`).

0 1

l) Die Anwendungsdaten sind ASCII-kodiert. Dekodieren Sie die ersten 8 Byte der übertragenen Nachricht. (ohne Begründung)

`0x52 43 50 54 20 54 4f 3a` = „`RCPT TO:`“

0 1

m) Wozu dient der dekodierte Teil der übertragenen Nachricht und welche Daten folgen darauf?

Das SMTP-Kommando `RCPT TO:` gibt den Empfänger der Mail an. Es folgt die Zieladresse (E-Mail-Adresse des Empfängers) der übertragenen Mail.

0 1

n) Beide aufgezeichneten Pakete wurden durch dieselbe Aktion des Nutzers an PC1 hervorgerufen. Erklären Sie, wozu das erste Paket (Abbildung 6.2) für die in Abbildung 6.3 beobachtete Kommunikation benötigt wurde.

Der SMTP-Server befindet sich außerhalb des lokalen Netzes von PC1 (im Internet). PC1 muss seine Pakete daher über das Default Gateway R1 versenden und dazu zunächst dessen MAC-Adresse mittels Neighbor Solicitation auflösen.

Lösungsvorschlag

Aufgabe 7 DNS, TLS und das Zugangserschwerungsgesetz (ZugErschwG) (6 Punkte)

Das im Jahr 2010 erlassene Zugangserschwerungsgesetz sah vor, dass große Internet-Serviceprovider die Auflösung voll-qualifizierter Domainnamen zu IP-Adressen mancher Domains auf einer geheimen Blockliste sperren müssen. Konkret planten Dienstanbieter, wie das DFN, dies über eine Filterung durch die ISP-Resolver umzusetzen.

a)* Kann eine solche Sperre umgangen werden? Wenn nein, begründen Sie warum dies nicht möglich ist. Wenn ja, begründen Sie, wie dies möglich ist und warum dies funktioniert.

0 1 2

☒ Ja ☐ Nein

Begründung: Ein Nutzer kann einfach in seinem Betriebssystem den konfigurierten DNS-Resolver auf einen nicht-sperrenden DNS-Resolver (z.B. aus dem Ausland) ändern. Alle DNS-Anfragen werden dann an diesen Resolver statt dem ISP-Resolver gestellt und unterliegen somit nicht den Sperrungen.

Neben DNS-Resolver Sperren, konnten Diensteanbieter weitere Schutzmaßnahmen umsetzen. Beispielsweise können Middleboxen zum Inspizieren und Blocken von TLS-Verbindungen genutzt werden. Sie wissen, dass TLS-Verbindungen asymmetrische und symmetrische Kryptographie verwenden.

b)* Wofür wird asymmetrische und symmetrische Kryptographie in TLS-Verbindungen jeweils verwendet?

0 1 2

Asymmetrische Kryptographie:

Wird für den gemeinsamen, geheimen Schlüsselaustausch verwendet und um sicherzustellen, dass mit dem richtigen Server sicher kommuniziert wird (Zertifikatsprüfung).

Symmetrische Kryptographie:
Wird für die eigentliche Datenübertragung inklusive der verschlüsselten Handshake-Nachrichten verwendet.

c)* Nennen Sie ein Anwendungsschichtprotokoll **außer HTTP(S)** welches in der Regel mit TLS verwendet wird. (ohne Begründung)

0 ½

(S)SMTP, IMAP(S), IPP(S), ...

d)* Nennen Sie einen Ort im TLS 1.3 Handshake an dem der voll-qualifizierte Domainname in der Regel aufgeführt ist und geben Sie an, ob er dort verschlüsselt ist oder nicht. Geben Sie den Ort durch Bezeichnung der Handshake-Nachricht bzw. -Teils und des Feldnamen so genau wie möglich an.

0 1

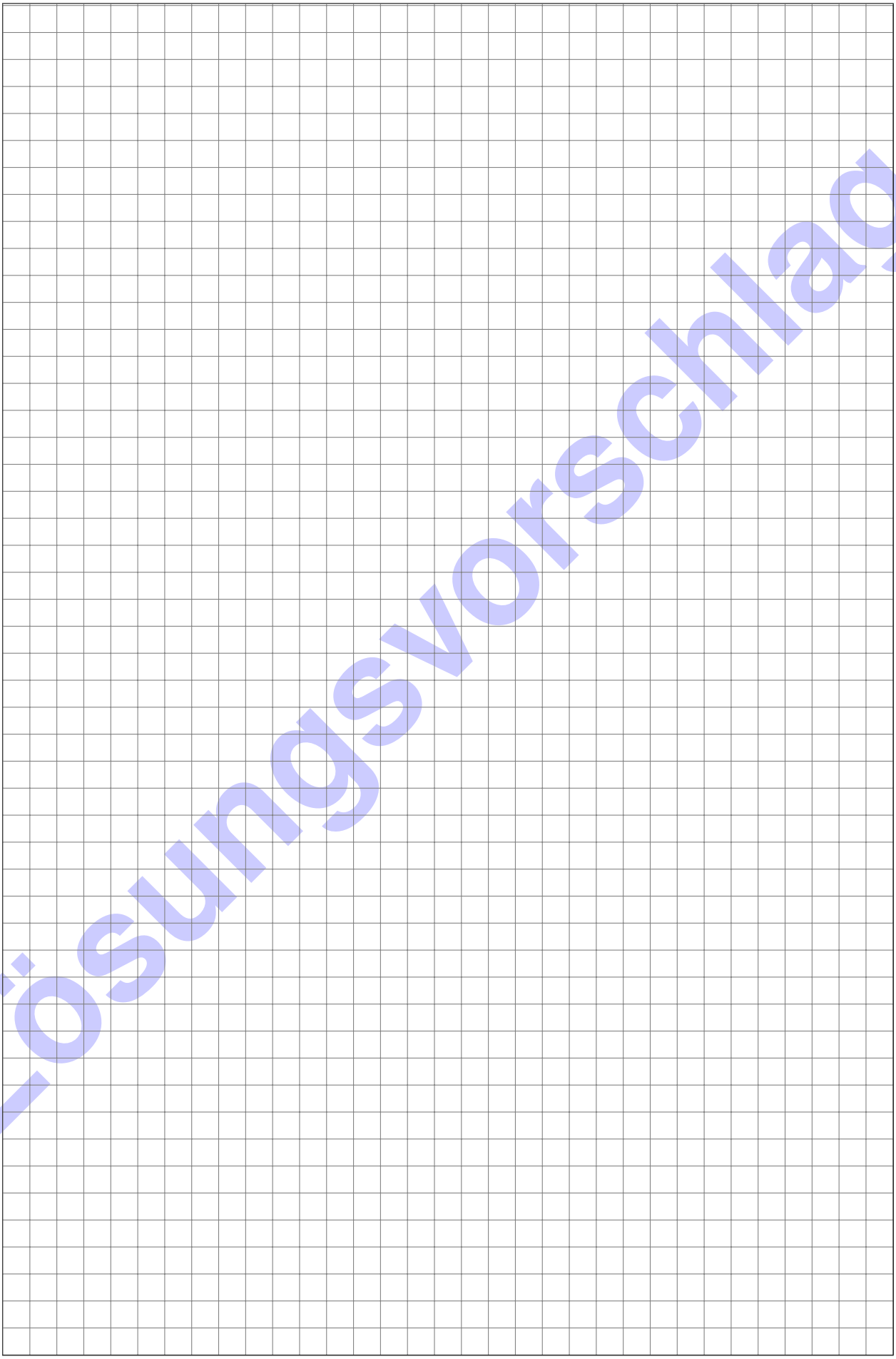
Nachricht und Feldname:

Client Hello, Server Name Extension, Server Name Indication (SNI)
Alternativ: Verschlüsselt in X.509-Zertifikat der Certificate Handshake-Nachricht, Subject Common Name bzw. Subject Alternative Names (SAN)

☐ Verschlüsselt ☒ Unverschlüsselt

Lösungsvorschlag

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



Lösungsvorschlag