

# GRNVS Tutorium 08 - SS21

Fabian Sauter

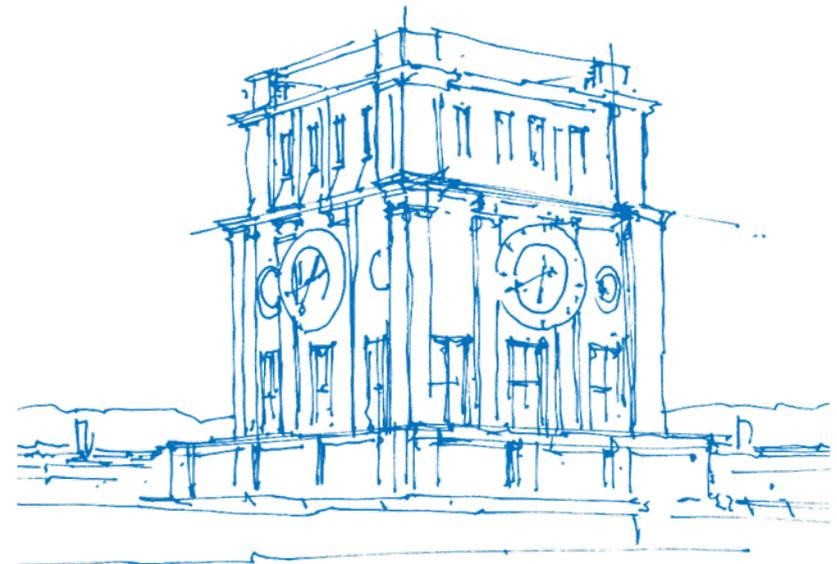
Technische Universität München

Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme (IN0010)

Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste

Garching, 14.06.2021

**Slides & Notes:** <http://grnvs.uwpx.org>

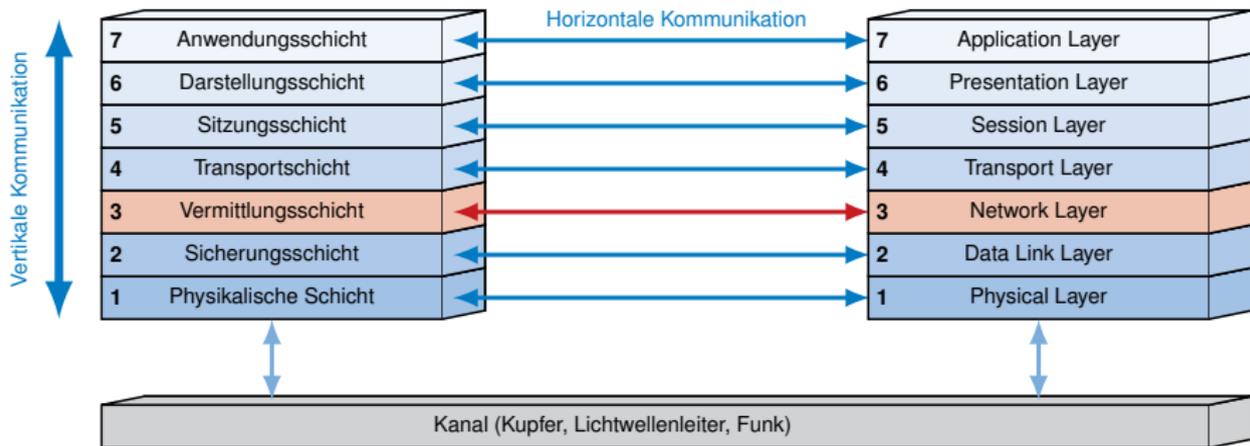


*TUM Uhrenturm*

# Wiederholung

# Kapitel 3: Vermittlungsschicht

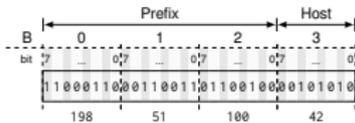
## Einordnung im ISO/OSI-Modell



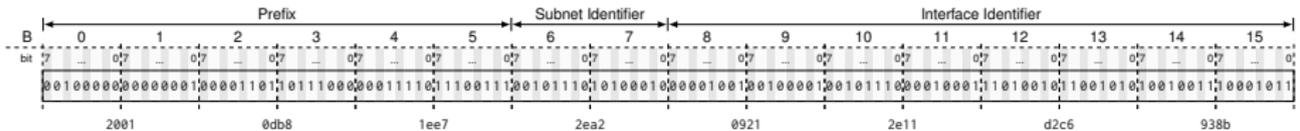
# Internet Protocol version 6 (IPv6)

## Adressformat

- IPv4-Adressen werden üblicherweise in **Dotted-Decimal-Notation** dargestellt, d. h. je eine 8 bit lange Gruppe wird als Dezimalzahl im Bereich 0–255 getrennt durch Punkte notiert.



- Diese Schreibweise würde bei IPv6 insgesamt 16 Gruppen ergeben – das wäre unübersichtlich und schwer zu merken.
- IPv6-Adressen werden in Gruppen zu je 16 bit getrennt durch Doppelpunkte (**colon-separated**) in hexadezimaler Schreibweise dargestellt.



### Achtung:

- Bitte IPv6-Adressen nicht mit MAC-Adressen verwechseln, nur weil beide hexadezimal notiert werden.
- Bitte das Präfix, das es auch bei IPv4 gibt, und den Subnet Identifier auseinander halten.

## Internet Protocol version 6 (IPv6)

### Adressformat

#### **Hinweise zur Notation [10]<sup>1</sup>**

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

---

<sup>1</sup> Weitere Details finden sich in RFC 5952.

# Internet Protocol version 6 (IPv6)

## Adressformat

### Hinweise zur Notation [10]<sup>1</sup>

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

---

<sup>1</sup> Weitere Details finden sich in RFC 5952.

### Hinweise zur Notation [10]<sup>1</sup>

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

2. Höchstens eine Gruppe konsekutiver Blöcke, die nur aus Nullen bestehen, darf wie folgt abgekürzt werden:



2001:db8::1:0:0:1

---

<sup>1</sup> Weitere Details finden sich in RFC 5952.

### Hinweise zur Notation [10]<sup>1</sup>

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

2. Höchstens eine Gruppe konsekutiver Blöcke, die nur aus Nullen bestehen, darf wie folgt abgekürzt werden:



2001:db8::1:0:0:1

3. Gibt es mehrere Möglichkeiten für Fall 2), so wählt man die längste Sequenz von Nullen. Bei mehreren gleich lange Sequenzen wählt man die erste Möglichkeit. **Falsch** wäre also:



2001:db8:0:0:1::1



2001:db8::1::1

---

<sup>1</sup> Weitere Details finden sich in RFC 5952.

### Hinweise zur Notation [10]<sup>1</sup>

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

2. Höchstens eine Gruppe konsekutiver Blöcke, die nur aus Nullen bestehen, darf wie folgt abgekürzt werden:



2001:db8::1:0:0:1

3. Gibt es mehrere Möglichkeiten für Fall 2), so wählt man die längste Sequenz von Nullen. Bei mehreren gleich lange Sequenzen wählt man die erste Möglichkeit. **Falsch** wäre also:



2001:db8:0:0:1::1



2001:db8::1::1

4. Ein einzelner 0 Block darf **nicht** mit :: abgekürzt werden:



2001:db8:0:1:1:1:1:1



2001:db8::1:1:1:1:1

**Anderes Beispiel:** Die Loopback-Adresse (vgl. 127.0.0.1 bei IPv4) lässt sich wie folgt kürzen:

0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001/128

<sup>1</sup> Weitere Details finden sich in RFC 5952.

### Hinweise zur Notation [10]<sup>1</sup>

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

2. Höchstens eine Gruppe konsekutiver Blöcke, die nur aus Nullen bestehen, darf wie folgt abgekürzt werden:



2001:db8::1:0:0:1

3. Gibt es mehrere Möglichkeiten für Fall 2), so wählt man die längste Sequenz von Nullen. Bei mehreren gleich lange Sequenzen wählt man die erste Möglichkeit. **Falsch** wäre also:



2001:db8:0:0:1::1



2001:db8::1::1

4. Ein einzelner 0 Block darf **nicht** mit :: abgekürzt werden:



2001:db8:0:1:1:1:1:1



2001:db8::1:1:1:1:1

**Anderes Beispiel:** Die Loopback-Adresse (vgl. 127.0.0.1 bei IPv4) lässt sich wie folgt kürzen:

0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001/128     $\mapsto$     ::1/128

<sup>1</sup> Weitere Details finden sich in RFC 5952.

## Headerformat

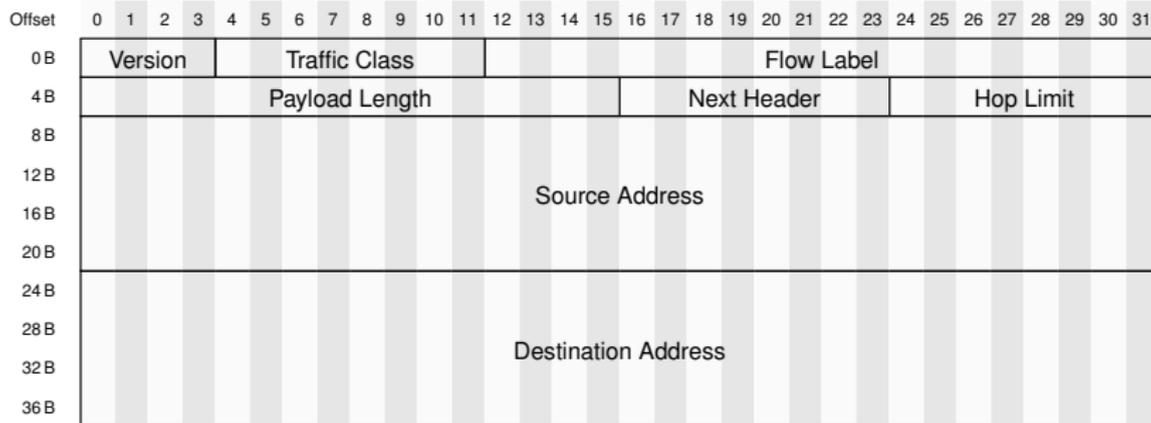
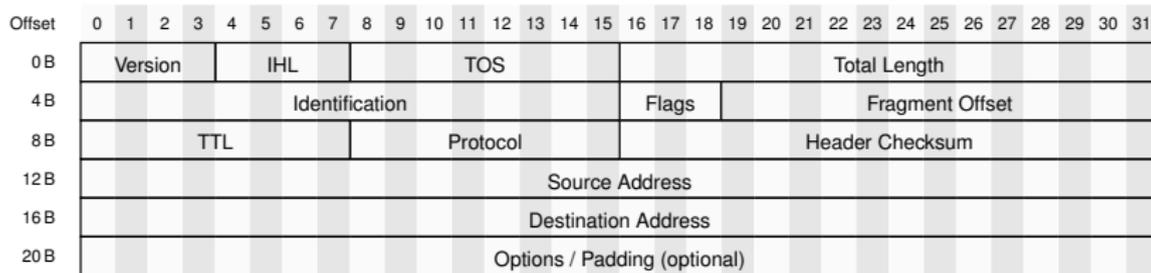


Abbildung 5: IPv4-Header (oben) und IPv6-Header (unten) im Vergleich

## Headerformat

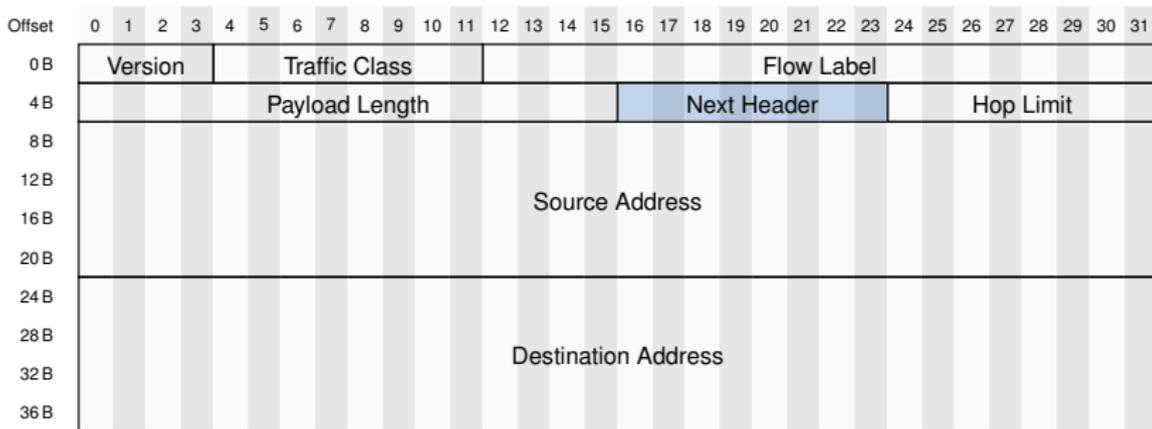


Abbildung 6: IPv6-Header (minimale Länge: 40 B, vgl. 20 B bei IPv4)

## Next Header

- Gibt den Typ des nächsten Headers an, der am Ende des IPv6-Headers folgt.
- Dies kann entweder ein L4-Header (z.B. TCP oder UDP), ein ICMPv6-Header oder ein sog. [IPv6 Extension Header](#) sein (mehr dazu gleich).

## Internet Protocol version 6 (IPv6)

### Headerformat – Extension Header (Fragment Header)

#### Beispiel:

- Rahmen haben auf Schicht 2 häufig eine maximale Größe, z. B. 1514 B für die L2-PDU (ohne CRC-Checksumme) bei IEEE 802.3u (100 Mbit/s Ethernet).
- Diese gibt auch die maximale Größe einer L3-PDU vor, welche als **Maximum Transmission Unit (MTU)** bezeichnet wird.
- Überschreitet eine L3-PDU diese Größe, muss die L3-SDU **fragmentiert** und in Form unabhängiger Pakete versendet werden.
- Der Empfänger muss die einzelnen **Fragmente** im Anschluss **reassemblieren**.

IPv6 verfügt zu diesem Zweck über einen eigenen Extension Header, den **Fragment Header**:

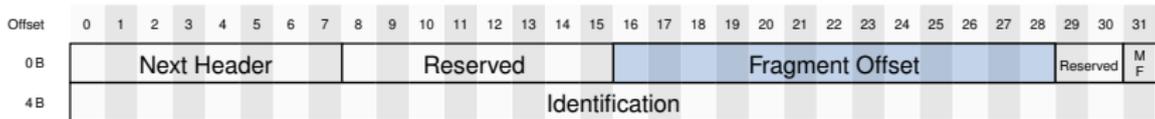


Abbildung 7: Fragment Header

#### Fragment Offset

- Offset der fragmentierten L3-SDU in Vielfachen von 8 B.
- Bei IPv6 erfolgt die Fragmentierung *ausschließlich* am Sender.  
**Frage:** Woher kennt der Sender die maximale MTU auf dem Weg von sich selbst bis hin zum Ziel?
- Bei IPv4 können Pakete, falls nicht explizit über das DF-Bit untersagt, bei Bedarf auch von Routern fragmentiert werden.  
**Frage:** Können Fragmente noch einmal fragmentiert werden?

## Internet Protocol version 6 (IPv6)

### IPv6-Adressen zur besonderen Verwendung [4]

#### ::1 / 128 – Loopback-Adresse

- Adressiert den Localhost, d.h. Pakete mit dieser Zieladresse verlassen den lokalen Rechner gar nicht erst, sondern werden über das sog. **Loopback-Interface** sofort wieder zugestellt (vgl. 127.0.0.1 bei IPv4).
- Werden nicht geroutet.

#### :: / 128 – nicht-spezifizierte Adresse

- Analogon zu 0.0.0.0 bei IPv4.
- Wird nicht geroutet.

#### fe80:: / 10 – Link-Local Adressen

- Jedes IPv6 Interface benötigt eine Link-Local-Adresse.
- Die Link-Local-Adresse wird aus dem Interface-Identifizier generiert.
- Hat nur innerhalb des lokalen Links Gültigkeit und wird daher nicht geroutet.

#### fc00: / 7 – Unique-Local Unicast-Adressen

- Adressen, die nur für lokale Kommunikation (z.B. innerhalb eines Firmennetzes) vorgesehen sind.
- Dürfen wie private IPv4-Adressen lokal aber nicht im Internet geroutet werden.

#### ff00:: / 8 – Multicast-Adressen

- Adressen, die eine bestimmte Gruppe von Hosts adressieren (mehr dazu gleich).
- Werden geroutet.

#### (fast) der ganze Rest – Globale Adressen

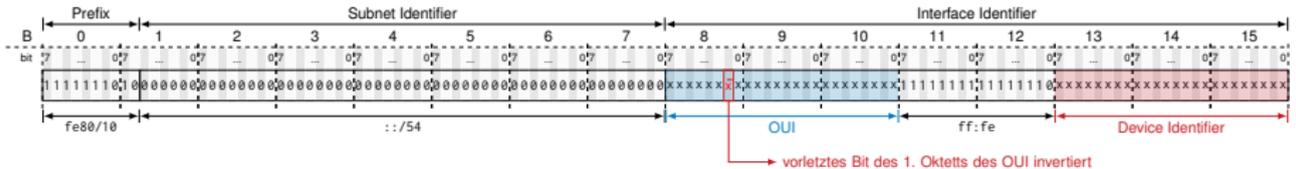
- Global eindeutige Adressen, die für den Einsatz in öffentlichen Netzen vorgesehen sind.
- Werden geroutet.

# Internet Protocol version 6 (IPv6)

## Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC) [17]

IPv6 erlaubt eine automatische Konfiguration von Hosts innerhalb eines einzelnen Subnetzes.

Ein Host generiert sich die für ein Interface benötigte link-local IPv6-Adresse wie folgt:

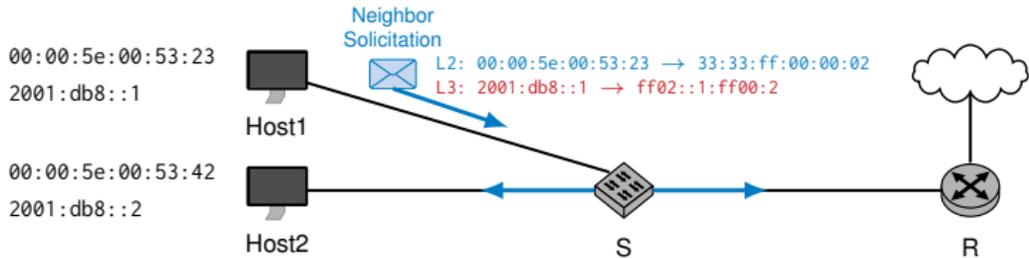


- Das Präfix ist `fe80::/10`.
- Der Subnet Identifier (die folgenden 54 bit) werden auf 0 gesetzt.
- Die verbleibenden 64 bit stellen den **Interface Identifier** dar, welcher aus der MAC-Adresse des jeweiligen Interfaces als **modifizierter EUI-64 Identifier** generiert wird:
  - Die ersten 24 bit sind der OUI der MAC-Adresse.
  - Die nachfolgenden 16 bit werden mit `ff:fe` „gestopft“.
  - Die restlichen 24 bit werden mit dem Device Identifier der MAC-Adresse aufgefüllt.
- Dabei ist das vorletzte Bit des ersten Oktett des OUI (global/local-Bit) invertiert:
  - Bei MAC-Adressen bedeutet eine 0 an dieser Bitstelle eine global eindeutige und eine 1 eine lokal administrierte Adresse (siehe Kapitel 2).
  - Bei IPv6 ist es genau andersrum: Durch die Invertierung wird erreicht, dass eine manuell konfigurierte IPv6-Adresse wie `2001:db8::1` nicht einen Interface Identifier enthält, der auf eine global eindeutige MAC- Adresse hinweist.
  - Andernfalls müsste man von Hand Adressen wie `2001:db8::200:0:0:1` vergeben ...

# Internet Protocol version 6 (IPv6)

## Neighbor Discovery Protocol (NDP) [13]

### Beispiel:



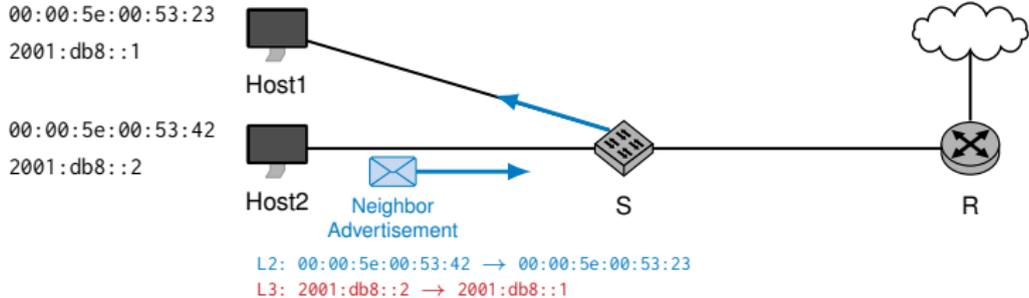
- Host1 sendet eine „Neighbor Solicitation for 2001:db8::2 from 00:00:5e:00:53:23“ an die zur bekannten IPv6 Adresse gehörende Solicited-Node Adresse (Multicast).

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0B	Type = 135 <sub>(10)</sub>			Code = 0			Checksum																									
4B	Reserved (set to zero)																															
8B																																
12B	Target Address (2001:db8::2)																															
16B																																
20B																																
24B	Type = 1			Length = 1			Source Link Address																									
28B	00:00:5e:00:53:23																															
	Additional Options																															

# Internet Protocol version 6 (IPv6)

## Neighbor Discovery Protocol (NDP) [13]

### Beispiel:



- Host1 sendet eine „Neighbor Solicitation for 2001:db8::2 from 00:00:5e:00:53:23“ an die zur bekannten IPv6 Adresse gehörende Solicited-Node Adresse (Multicast).
- Host2 empfängt diese Nachricht und antwortet mit einer „Neighbor Advertisement 2001:db8::2 (so1, ovr) is at 00:00:5e:00:53:42“ Nachricht (Unicast).

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
0B	Type = 135 <sub>(10)</sub>			Code = 0			Checksum																										
4B	Reserved (set to zero)																																
8B																																	
12B	Target Address (2001:db8::2)																																
16B																																	
20B																																	
24B	Type = 1			Length = 1			Source Link Address																										
28B	00:00:5e:00:53:23																																
	Additional Options																																

Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
0B	Type = 136 <sub>(10)</sub>			Code = 0			Checksum																										
4B	R	S	0	Reserved (set to zero)																													
8B																																	
12B	Target Address (2001:db8::2)																																
16B																																	
20B																																	
24B	Type = 2			Length = 1			Target Link Address																										
28B	00:00:5e:00:53:42																																
	Additional Options																																

### Mapping von Multicast IPv6 Adressen auf MAC-Adressen [5]

- IPv6-Pakete mit einer Zieladresse aus dem Präfix `ff00::/8` werden mit der zugehörigen Multicast-Adresse auf Schicht 2 (Ethernet) versendet.
- Um Multicasts auf Schicht 3 auch auf Schicht 2 abbilden zu können, muss es einen Zusammenhang zwischen den verwendeten Adressen beider Schichten geben.
- Die ersten 2 Oktette der MAC-Adresse werden auf `33:33` gesetzt.
  - letztes Bit des ersten Oktetts ist gesetzt → Multicast
  - vorletztes Bit des ersten Oktetts ist gesetzt → locally administered
  - siehe Kapitel 2
- Die letzten 4 Oktette der Ethernetadresse werden die letzten 4 Oktette der IPv6 Multicastadresse.

### Beispiel:

`ff02::1:ffc6:938b` ↦ `33:33:ff:c6:93:8b`

### RFC 7042, Abschnitt 2.3.1:

*“(Historical note: It was the custom during IPv6 design to use ‘3’ for unknown or example values, and 3333 Coyote Hill Road, Palo Alto, California, is the address of PARC (Palo Alto Research Center, formerly ‘Xerox PARC’). Ethernet was originally specified by the Digital Equipment Corporation, Intel Corporation, and Xerox Corporation. The pre-IEEE [802.3] Ethernet protocol has sometimes been known as ‘DIX’ Ethernet from the first letters of the names of these companies.)”*

# Ablauf:

- Aufgabe 2
- Aufgabe 1

# Studenten zählen

(Nur als Erinnerung für mich.)