



universität  
**uulm**

# Eine Reise durch das Internet

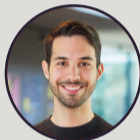
Wie Daten ihren Weg finden und warum sie manchmal verloren gehen

Lukas Pietzschmann

Institut für Verteilte Systeme, Universität Ulm





8. Mai 2026



# ÜBER MICH



Hi, ich bin Lukas!



 Institut für Verteilte Systeme  
 027 3210  
 [uulm.de/in/vs/pietzschmann](https://uulm.de/in/vs/pietzschmann)  
 +49 731 50-24145

 Datenschutz in der empirischen Forschung  
 Überwachung, Sammlung und Analyse von Netzwerkdaten

## 2. Übersicht

## 2.1

# NETZE IM ECHTEN LEBEN

- Es ist Black Friday; die Shopping Queens und Kings schlagen zu
- ▶ Damit alles bei Ihnen ankommt, muss viel passieren:

Ihre Sicht



Anbieter-Sicht

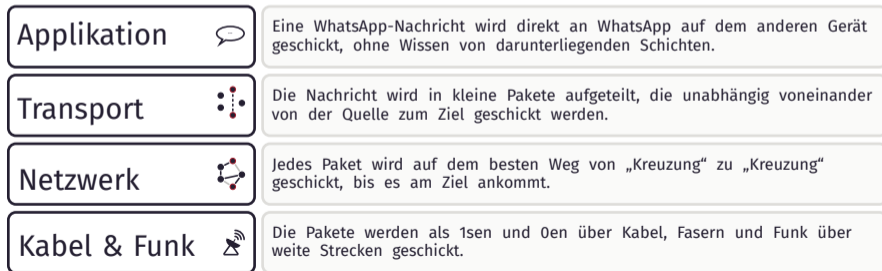


Fahrer-Sicht



# DIE SCHICHTEN DES INTERNETS

- Auch im Internet gibt es verschiedene Sichten auf die Kommunikation
  - ▶ Wir nennen die Sichten: *Schichten*
  - ▶ Jede Schicht kümmert sich um einen Aspekt der Kommunikation



## 2.3

# DIE ODYSSEE DES PAKETS



## 2.3

# DIE ODYSSEE DES PAKETS



- Das Schichtenmodell wirkt zwar robust und einfach, aber ...
- An wirklich jeder Stelle kann etwas schiefgehen
- Jede Schicht bringt ihre eigenen, komplett unterschiedlichen Fehlerquellen mit sich
- ▶ Wir wollen heute mal sehen, *was* so alles passieren kann, und *wie* das Internet damit umgeht

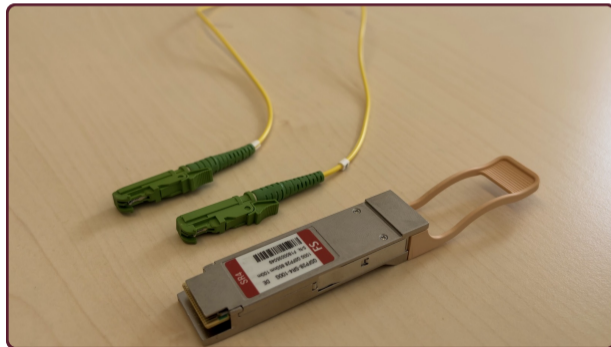


# 3. Kabel & Funk

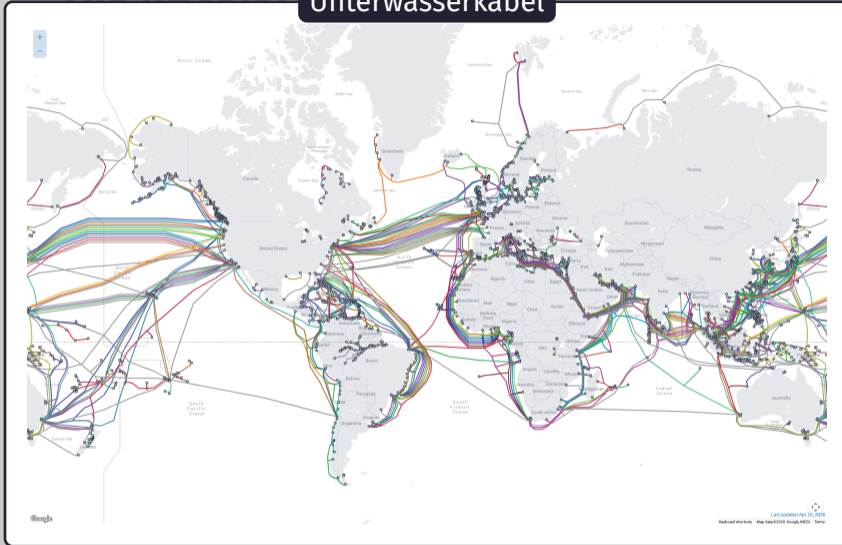
## 3.1

# DIE PHYSISCHE SCHICHT

- Nicht mehr als sehr, seeeeehr schnelles Morsen
- ▶ Entweder *Strom an* oder *Strom aus* in Kabeln, oder
- ▶ *Licht an* oder *Licht aus* in Fasern



## Unterwasserkabel



## Leitungsinfrastruktur des BelWü



## 3.2

# DER FEIND DER PHYSISCHEN SCHICHT



## WAS TUN, WENN DAS KABEL KAPUTT IST?

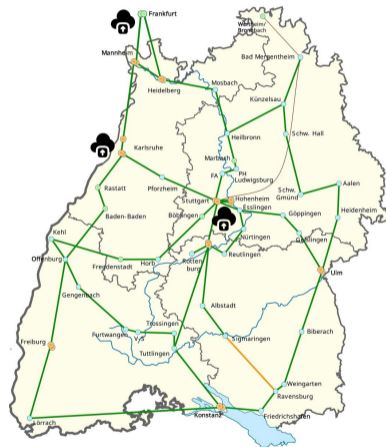
***Redundanz!***

Und dann möglichst schnell reparieren :)

### 3.3

## WAS TUN, WENN DAS KABEL KAPUTT IST?

- Physische Redundanz durch
  - ▶ Mehrere Kabel, Fasern oder Funkstrecken
  - ▶ Die alle unterschiedliche Wege nehmen
- Redundanz gibt es auch in höheren Schichten
  - ▶ Hier „unten“ ist es aber besonders wichtig



# 4. Netzwerk

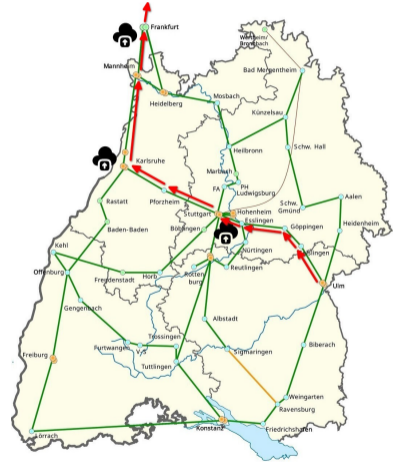
```

My traceroute [v0.95]
thonk-pad (2001:7c0:3101:1a01:e8fb:f0f9:b97a:23a6) -> google.com (2a00:1450:4001:c0f::8b) 2026-04-23T14:34:42+0200
Keys: Help Display mode Restart statistics Order of fields quit

Host                                     Packets      Pings
Loss%  Snt  Last  Avg  Best  Wrst StDev
 1. vlan-77-gw-hsrp2.rz.uni-ulm.de         0.0%    100   0.7  0.9  0.6  2.8  0.3
 2. ka1n-e30.rz.uni-ulm.de                 0.0%    100   0.8  0.9  0.7  1.2  0.1
 3. stu-eti-a99-hu0-1-0-2.belwue.net       0.0%    100   2.7  2.8  2.6  3.3  0.1
 4. fra-decix-a99-hu0-1-0-4.belwue.net     0.0%    100   5.9  98.7 5.6 1342. 288.1
 5. 2a00:1450:8461:100::1                  0.0%    100   5.7  5.7  5.6  5.9  0.1
 6. 2a00:1450:8461:100::1                  0.0%    100   5.7  5.7  5.6  5.9  0.1
 7. 2001:4860:0:1:5004                     0.0%    100   5.8  5.6  5.6  5.8  0.1
 8. 2001:4860:0:1:986e                      10.0%   100   6.2  6.3  6.2  6.7  0.1
 9. (waiting for reply)
10. (waiting for reply)
11. (waiting for reply)
12. (waiting for reply)
13. (waiting for reply)
14. (waiting for reply)
15. bt-in-f139.1e100.net                   0.0%    99   6.5  6.5  6.4  6.9  0.1

```

- Ein Paket von A nach B muss durch einige Stationen auf seinem Weg
- Jede dieser Stationen stupst das Paket weiter in die richtige Richtung



## WAS SIND DIESE STATIONEN AUF DEM WEG?

- Die Stationen sind Router!
- Quasi wie der kleine Router bei Ihnen daheim
- Nur eben viel, viiiiel größer
  
- Pakete sind nicht wie Autofahrer, die selbstständig von A nach B fahren
- Sie sind eher wie Züge, die von den Weichen in die richtige Richtung gelenkt werden
- ▶ Die Router lesen die Zieladresse und entscheiden, wo das Paket als Nächstes hin soll



von A nach B

richtige

wo das Paket

## 4.2

# WAS SIND DIESE STATIONEN AUF DEM WEG?

```
Wireshark - Packet 1 packet.pcapng
> Frame 1: Packet, 125 bytes on wire (1000 bits), 125 bytes captured (1000 bit
✓ Ethernet II, Src: 62:6d:11:7d:f3:70 (62:6d:11:7d:f3:70), Dst: Cisco_a0:00:06
  > Destination: Cisco_a0:00:06 (00:05:73:a0:00:06)
  > Source: 62:6d:11:7d:f3:70 (62:6d:11:7d:f3:70)
  Type: IPv6 (0x86dd)
  [Stream index: 0]
✓ Internet Protocol Version 6, Src: 2001:7c0:3101:1a01:e8fb:f0f9:b97a:23a6, Ds
0110 .... = Version: 6
  .... 0000 0000 .... = Traffic Class: 0x00 (DSCP: CS0, E
  .... 0011 0010 0110 1101 1110 = Flow Label: 0x326de
  Payload Length: 71
  Next Header: TCP (6)
  Hop Limit: 64
  > Source Address: 2001:7c0:3101:1a01:e8fb:f0f9:b97a:23a6
  > Destination Address: 2001:4860:4829:7700::
  [Source GeoIP: DE]
  [Destination GeoIP: US]
  [Stream index: 0]
  > Transmission Control Protocol, Src Port: 44540, Dst Port: 443, Seq: 1, Ack:
  > Transport Layer Security

0000 00000000 00000101 01110011 10100000 00000000 00000110 01100010 01101101
0008 00010001 01111101 11110011 01110000 10000110 11011101 01100000 00000011
0010 00100110 11011110 00000000 01000111 00000110 01000000 00100000 00000001
0018 00000111 11000000 00110001 00000001 00011010 00000001 11101000 11111011
0020 11110000 11111001 10111001 01111010 00100011 10100110 00100000 00000001
0028 01001000 01100000 01001000 00101001 01110111 00000000 00000000 00000000
0030 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 10101101 11111100
0038 00000001 10111011 10101101 00101011 10100100 01010111 00100001 01101011
0040 10101011 10100111 10000000 00011000 00000000 01011100 01010001 10110010
0048 00000000 00000000 00000001 00000001 00001000 00001010 00001011 01101011
0050 11010010 10011101 00001100 00100101 01101100 01110000 00010111 00000011
0058 00000011 00000000 00100010 10011111 01000110 11101001 11011001 11010100
0060 11111101 11111011 01110000 00000001 01001011 11111000 00010010 10001001
0068 10100000 00101110 00000101 00100010 01110011 10010001 11110010 10111000
0070 11110011 11111001 11110001 00011010 01010001 11010110 00101010 00011011
0078 10100110 10011000 11100100 10111001 10100001
```

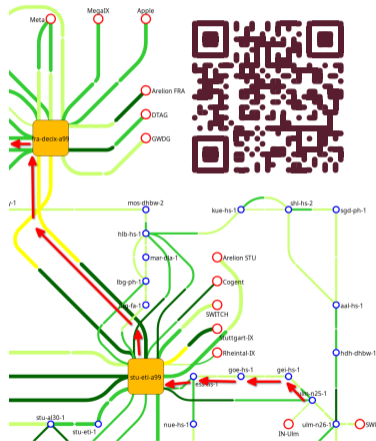
als Nächstes hin soll

## 4.3

# PAKETE DURCH ~~UM~~ DAS INTERNET



- Wenn zu viele Pakete gleichzeitig durch einen Router wollen, kann es zu einem *Stau* kommen
- ▶ Der Router kann nicht mehr alle Pakete sofort weiterleiten, sondern muss sie zwischenspeichern
- ▶ Wenn der Stau zu lange ist und der Zwischenspeicher voll ist, werden Pakete verworfen



# STAUERKENNUNG



› Wir senden ein paar Pakete los

## 4.5

# STAUERKENNUNG



› Wir senden ein paar Pakete los

## 4.5

# STAUERKENNUNG



› Der Router in Stuttgart leitet sie weiter

## 4.5

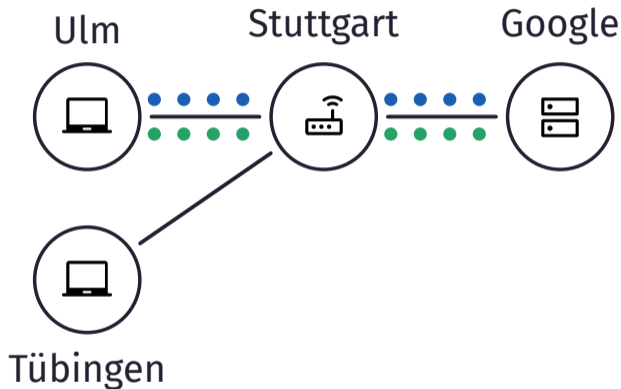
# STAUERKENNUNG



› Wir bekommen Antworten zurück

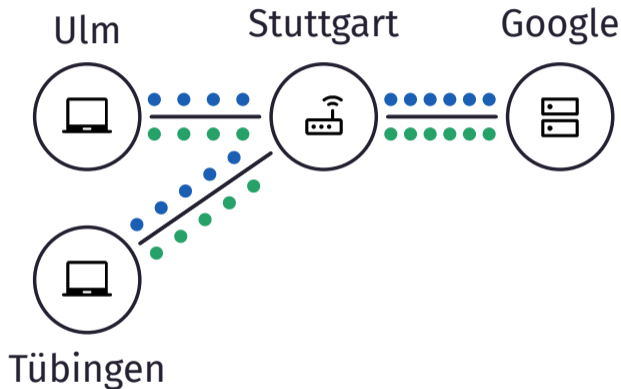
## 4.5

# STAUERKENNUNG



› Ein weiterer Nutzer in Tübingen will auch Pakete senden

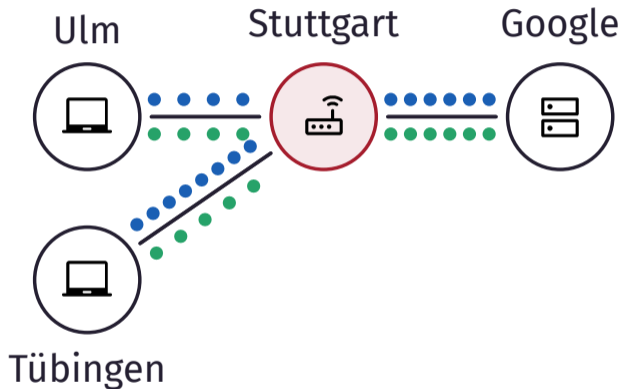
# STAUERKENNUNG



- › Ein weiterer Nutzer in Tübingen will auch Pakete senden
- › Die Last auf dem Router steigt an

## 4.5

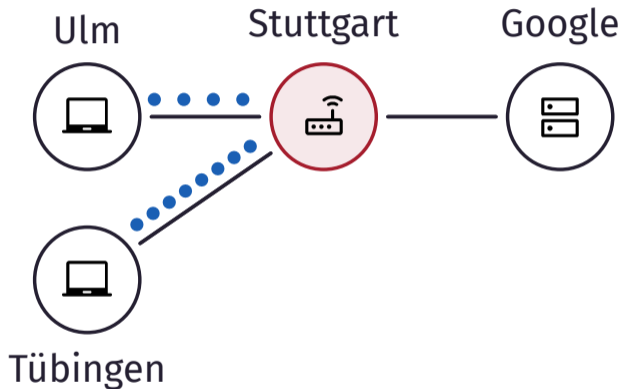
# STAUERKENNUNG



- › Aus Tübingen kommen jetzt noch mehr Pakete
- › Der Router kommt nicht mehr hinterher und es entsteht ein Stau

## 4.5

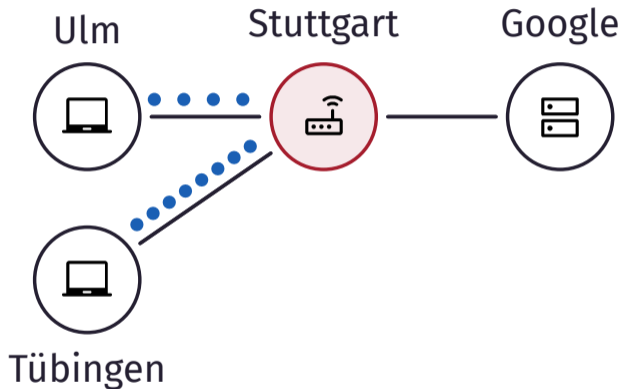
# STAUERKENNUNG



- › Der Router verwirft Pakete
- › Wir bekommen keine Antworten mehr zurück

## 4.5

# STAUERKENNUNG

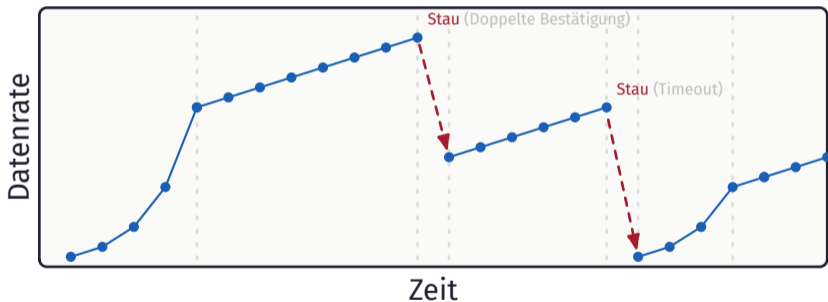


- › Der Router verwirft Pakete
- › Wir bekommen keine Antworten mehr zurück



# STAUKONTROLLE

- Es gibt verschiedene Möglichkeiten mit Stau umzugehen
- ▶ Wir schauen uns an, wie Ihr Gerät das macht



- Das funktioniert natürlich nur, wenn alle mitmachen
- ▶ Es gibt auch böartige Geräte, die sich nicht an die Regeln halten

# 5. Applikation

## 5.1

# DIE APPLIKATIONS-SCHICHT

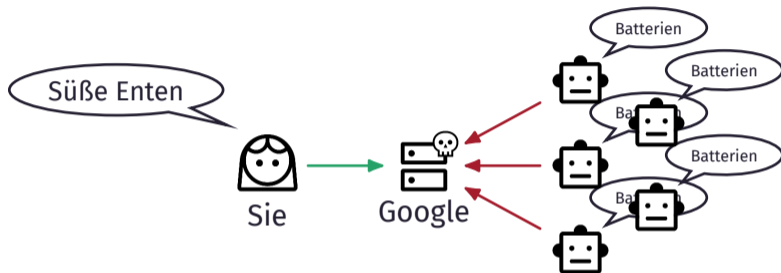


## 5.1

# DIE APPLIKATIONS-SCHICHT



- Die Applikations-Schicht verlässt sich auf alle darunterliegenden Schichten ohne sie zu kennen
- Hier werden einfach beliebige Daten von einem Computer zu einem anderen geschickt
- ▶ Ohne, dass die Applikation wissen muss, wie das Netz darunter funktioniert



- Der Server wird mit sooo vielen Anfragen überflutet, dass er nicht mehr alle Anfragen bearbeiten kann
- ▶ Genau wie bei einem Stau in der Netzwerk-Schicht
- Das blockiert oft nicht nur den Dienst, sondern auch das Netz!

## ***Redundanz!***

Und dann möglichst schnell die Angreifer blockieren :)

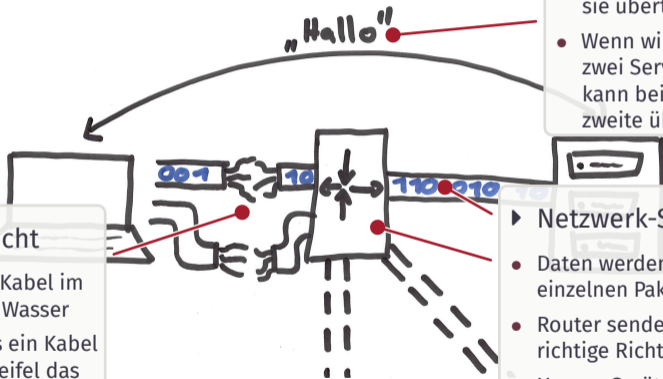
- Replikation auf mehreren Servern, die möglichst unabhängig voneinander sind
- Das ist neben der Resilienz gegen Angriffe auch gut für
  - ▶ *Latenz*, da wir den Server nehmen können, der am nächsten ist
  - ▶ *Skalierbarkeit*, da wir einfach mehr Server hinzufügen können, wenn die Nachfrage steigt
  - ▶ *Lastverteilung*, da ein Server nicht alle Anfragen alleine bearbeiten muss
  - ▶ *Verfügbarkeit*, da der Dienst weiterläuft, auch wenn ein Server ausfällt

## 6. Nochmal in kurz

# 6

## WAS HABEN WIR HEUTE GELEBNT?

- ▶ **Physische Schicht**
  - 1en und 0en über Kabel im Boden oder unter Wasser
  - Wenn wir mehr als ein Kabel legen, kann im Zweifel das andere übernehmen



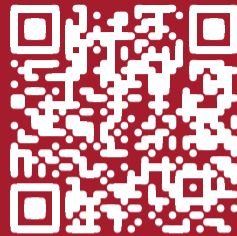
- ▶ **Applikations-Schicht**
  - Geräte senden Nachrichten, ohne wissen zu müssen, wie sie übertragen werden
  - Wenn wir eine Website auf zwei Servern betreiben, kann bei einem Ausfall der zweite übernehmen

- ▶ **Netzwerk-Schicht**
  - Daten werden vielen einzelnen Paketen verschickt
  - Router senden Pakete in die richtige Richtung
  - Unsere Geräte helfen mit, damit es keinen Stau gibt



**Lukas Pietzschmann**

Ulm, 8. Mai 2026



Scan me! (Kein Virus 😊)

lukas.pietzschmann@uni-ulm.de