Assignment 4: Messaging Security

Student: Philip Magnus

1. Aufgabenstellung

Analysieren Sie eines der drei folgenden Messaging Protokolle bzw. Tools:

Matrix (via Element Client) Signal WhatsApp Falls gewünscht ein anderes, nicht genanntes: in diesem Fall eine Email mit Begründung an Tobias Buchberger Die gewonnenen Informationen entweder über Quellen belegen bzw. beschreiben, wie Sie diese in Ihrer Analyse herausgefunden haben. Erstellen Sie ein Protokoll (wie gewohnt als Markdown/HackMD/PDF).

Betrachten Sie folgende Eigenschaften (2 Punkte):

Welche Architektur ist umgesetzt (Centralized/Federated/Distributed)? Ist das Protokoll synchron oder asynchron?

Beantworten Sie folgende Fragen (2 Punkte):

Wie ist Trust Establishment umgesetzt? Welche kryptographischen Primitiva werden eingesetzt (hinsichtlich Symmetrische/Asymmetrische Kryptographie, MACs, etc.)?

Führen Sie eine Analyse des erzeugten Netzwerktraffics mittels Wireshark durch und versuchen Sie so viele Fragen wie möglich zu beantworten. Dokumentieren Sie entsprechende Screenshots/PCAPs (10 Punkte):

Analyse des Netzwerktraffics (3 Punkte): Können Sie den initialen Schlüsselaustausch bzw. das übertragene Schlüsselmaterial identifizieren (z.B. Signal X3DH, nicht TLS)? Können Sie einzelne Nachrichten identifizieren? Können Sie unterschiedliche Nachrichten-Typen unterscheiden? (Text, Audio, Telefonat, Medien etc.) Metadaten Analyse (3 Punkte): Scheinen interessante Informationen im Netzwerkverkehr auf? Welche Metadaten werden übertragen bzw. können Sie Metadaten aus dem aufgezeichneten Netzwerkverkehr entnehmen (z.B. DNS, X.509 Zertifikate)? Werden long-term Secrets (Public Keys) als Plaintext übertragen? Oder gibt es Identity Hiding? Sehen Sie Unterschiede zwischen 1:1 Chats bzw. Group Chats?

TLS-Interception und Analyse (4 Punkte): Sind die Netzwerkverbindungen, zusätzlich zur E2EE, transportverschlüsselt (z.B. TLS)? Wenn ja: Können Sie erfolgreich eine MitM Attacke durchführen? auf TLS; E2EE ist out-of-scope vgl. Android Challenge aus CYBERSEC, MitM mittels Burp Suite, Fiddler, mitmproxy.org, Ettercap, ZAP, o.Ä.) Bei WhatsApp könnte SSLKEYLOGFILE ausreichen Können Sie den TLS-Netzwerkverkehr erfolgreich entschlüsseln? Wenn ja: Können Sie nun weitere Fragen beantworten? Wenn nein: Dokumentation der durchgeführten Schritte. Ist Ihnen sonst etwas interessantes/erwähnenswertes aufgefallen?

2. Vorbereitung

Im zuge dieser Aufgabe habe ich mich für die Analyse des Matrix Protokolls entschieden, welches über den Element Client genutzt wird.

Die Aufgabe wurde auf einem Ubuntu 24.04 LTS System durchgeführt.

Installiert wurde die folgende Software:

- Element Client (Matrix)
- Wireshark
- mitmproxy

Der Element Client wurde mit den folgenden Commands installiesrt:

```
sudo apt install -y wget apt-transport-https

sudo wget -O /usr/share/keyrings/element-io-archive-keyring.gpg
https://packages.element.io/debian/element-io-archive-keyring.gpg

echo "deb [signed-by=/usr/share/keyrings/element-io-archive-keyring.gpg]
https://packages.element.io/debian/ default main" | sudo tee
/etc/apt/sources.list.d/element-io.list

sudo apt update

sudo apt install element-desktop
```

3.Eigenschaften & Funktion

3.1 Welche Architektur ist umgesetzt (Centralized/Federated/Distributed)?

Matrix nutzt eine föderierte Architektur.

- Es gibt keinen zentralen Server.
- Nutzer registrieren sich auf sogenannten Homeservern.
- Diese Homeserver kommunizieren föderiert miteinander.
- Rooms können sich über viele Homeserver erstrecken.
- Jeder Server speichert eine Kopie des Raumzustands und der Nachrichten, die er kennt.

Das Matrix Chatprotokoll ist dezentral, ausfallsicher und hat keinen Single Point of Failure, ist aber kein vollständiges peer-to-peer Protokoll.

3.2 Ist das Protokoll synchron oder asynchron? Asynchrone und synchrone Kommunikation möglich.

Matrix unterstützt sowohl asynchrone als auch synchrone Kommunikation.

Asynchron

- Klassische Chatnachrichten
- Nutzer müssen nicht gleichzeitig online sein
- Nachrichten werden serverseitig gespeichert und später zugestellt

Synchron

- Echtzeit-Chats

- Typing Notifications
- VoIP / Videoanrufe (über WebRTC, Signalisation via Matrix)

Das Protokoll ist primär asynchron, ermöglicht aber synchrone Echtzeitinteraktionen.

3.3 Wie ist Trust Establishment umgesetzt?

Matrix verfolgt ein dezentrales, benutzerzentriertes Trust-Modell:

Server-zu-Server-Trust

- Homeserver identifizieren sich gegenseitig über Server-Signing-Keys
- Ereignisse (Events) werden kryptographisch signiert
- Föderation basiert auf Verifikation statt implizitem Vertrauen

Ende-zu-Ende-Verschlüsselung

- Jeder Client besitzt eigene Geräteschlüssel
- Vertrauen wird pro Gerät, nicht pro Account aufgebaut

User Verification

- Key Verification (QR-Code, Emoji-Vergleich)
- Cross-Signing:
  - Master Key
  - Self-Signing Key
  - User-Signing Key
- Ermöglicht automatisches Vertrauen neuer Geräte nach einmaliger Verifikation

3.4 Welche kryptographischen Primitiva werden eingesetzt (hinsichtlich Symmetrische/Asymmetrische Kryptographie, MACs, etc.)?

Asymmetrische Kryptographie

- Ed25519
  - Digitale Signaturen
  - Geräte- und Serveridentitäten
- Curve25519
  - Schlüsselaustausch (Diffie-Hellman)

Symmetrische Kryptographie

- AES-256
  - Nachrichtenverschlüsselung
- Ratchet-Mechanismen
  - Forward Secrecy
  - Post-Compromise Security

Message Authentication

- HMAC-SHA256
- Authentifizierung und Integrität von Nachrichten

Hashfunktionen

- SHA-256
    - Schlüsselableitungen
    - Event-Referenzen

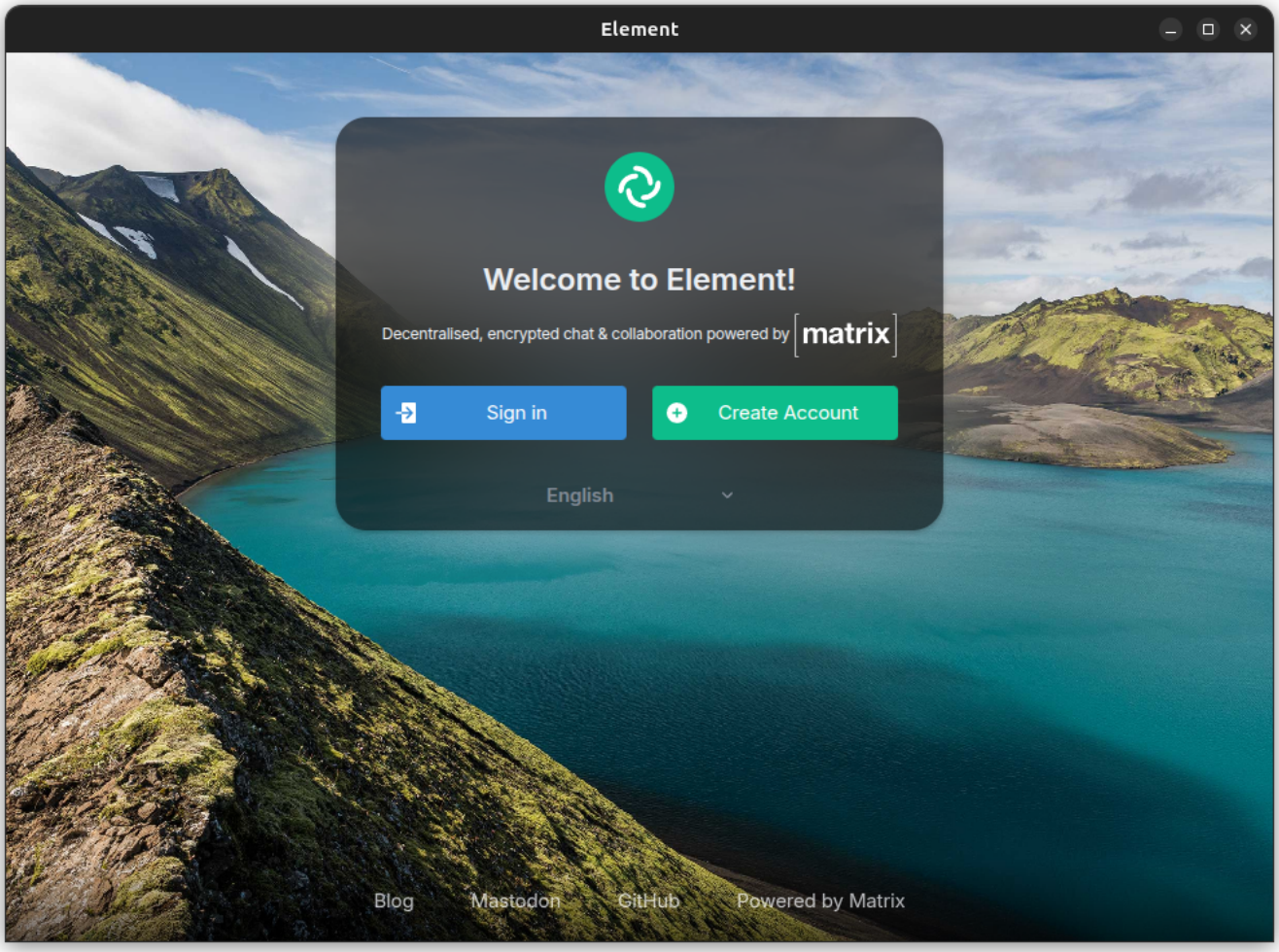
Protokolle

- Olm
    - 1-zu-1-Chats
    - Asynchrones Double-Ratchet-Verfahren
- Megolm
    - Gruppen-Chats
    - Effizient für große Räume, eingeschränkte Forward Secrecy

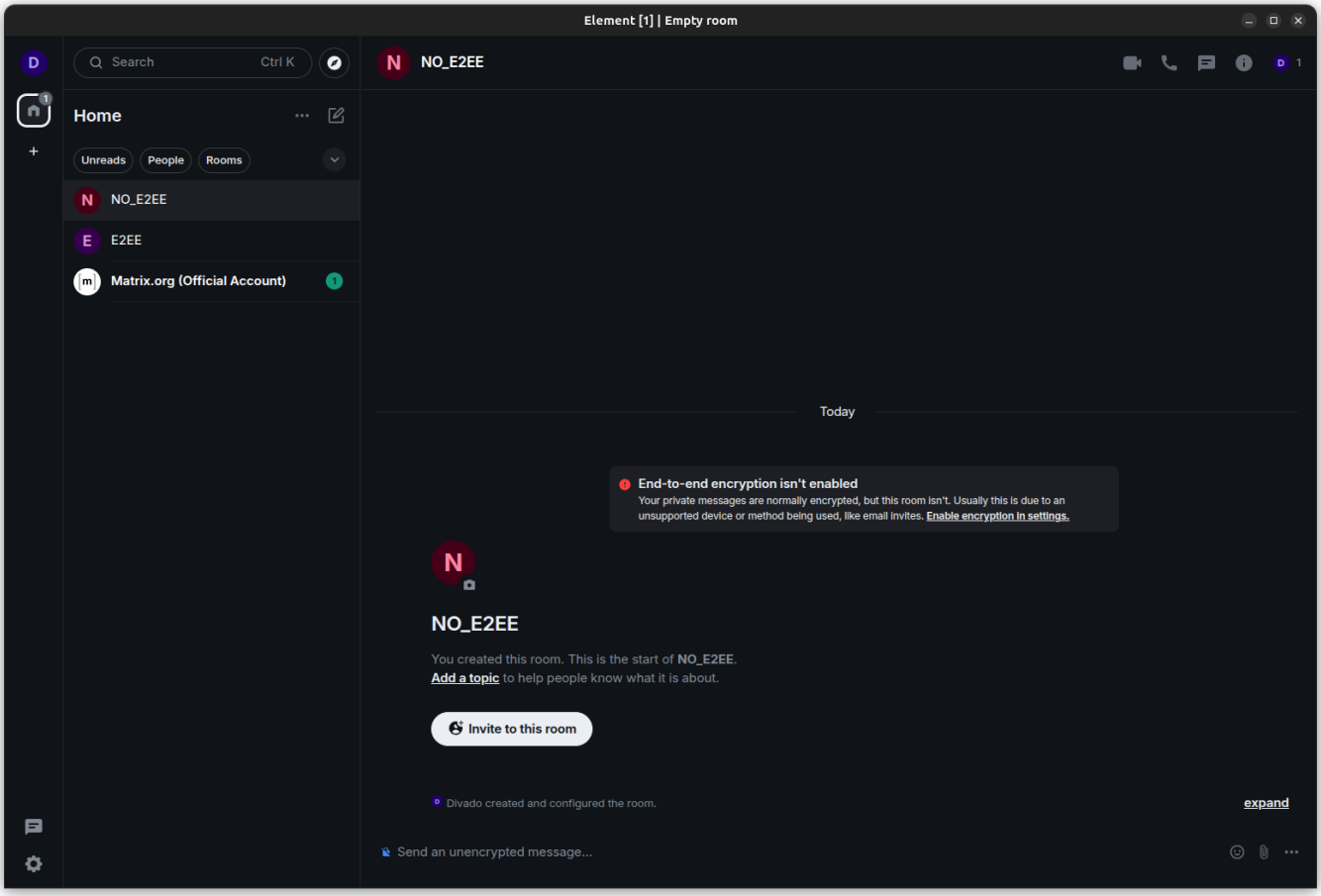
4. Analyse des Netzwerktraffics

4.1 Vorbereitung der Analyse

Nach der Installation und dem start des Element Clients wird folgender Startbildschirm angezeigt:



Nach dem erstellen eines Accounts und dem einloggen im Element Client, habe ich zwei private Chats erstellt. Der eine Raum nutzt eine Ende-zu-Ende Verschlüsselung, der andere nicht. Dies habe ich getan um die Unterschiede im Netzwerktraffic zu analysieren.



Im Anschluss bin ich mit einem zweiten Account von meinem Handy in die beiden Räume beigetreten um Nachrichten auszutauschen.

4.2 Netzwerktraffic Analyse mit Wireshark

Nach dem Start eines Wireshark Captures während der Nutzung des Element Clients, konnte ich den Netzwerktraffic analysieren. Ich habe zuerst drei Nachricten in der nicht Ende-zu-Ende verschlüsselten Konversation vom Desktop gesendet, gefolgt von einer Nachricht vom Handy und abschließend eine letzte Nachricht vom Desktop.

Um den Wireshark Capture besser filtern zu können habe ich nach den IP Addressen der Homeserver gesucht, welche in meinem Fall die folgenden waren:

```
❯ dig matrix-client.matrix.org

; <<>> DiG 9.18.39-0ubuntu0.24.04.2-Ubuntu <<>> matrix-client.matrix.org
;; global options: +cmd
;; Got answer:
;; ->>HEADER<<- opcode: QUERY, status: NOERROR, id: 56651
;; flags: qr rd ra; QUERY: 1, ANSWER: 2, AUTHORITY: 0, ADDITIONAL: 1

;; OPT PSEUDOSECTION:
; EDNS: version: 0, flags:; udp: 65494
;; QUESTION SECTION:
;matrix-client.matrix.org.      IN      A

;; ANSWER SECTION:
matrix-client.matrix.org. 62    IN      A       172.66.139.239
matrix-client.matrix.org. 62    IN      A       172.66.135.3

;; Query time: 0 msec
;; SERVER: 127.0.0.53#53(127.0.0.53) (UDP)
;; WHEN: Sat Jan 10 23:40:33 CET 2026
;; MSG SIZE  rcvd: 85
```

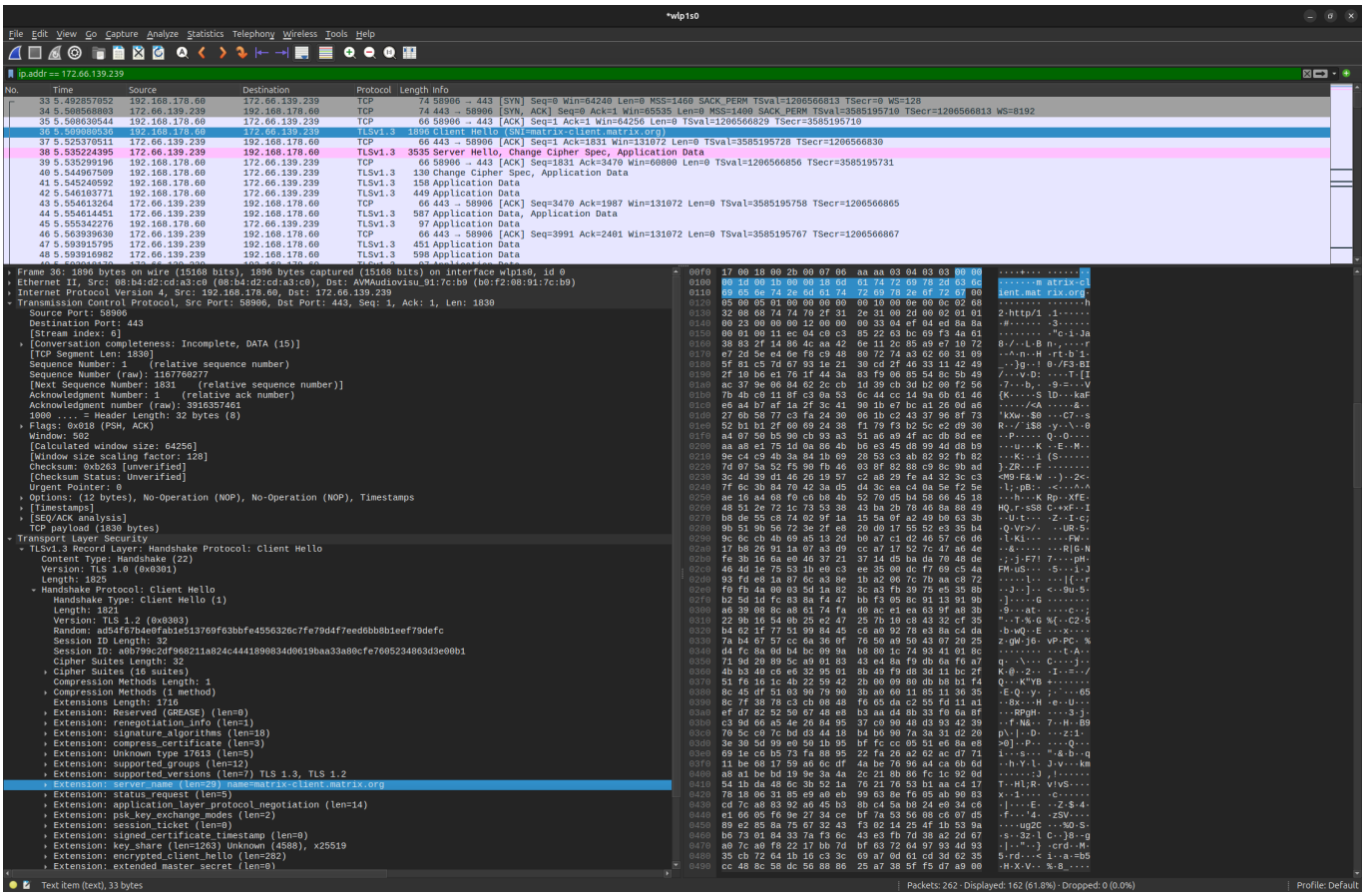
Für den A Record wurden folgende IPs zurückgegeben:

- 172.66.139.239
- 172.66.135.3

Anschließend habe ich in Wireshark nach diesen IPs gefiltert um nur den relevanten Traffic anzuzeigen:

```
ip.addr == 172.66.139.239 || ip.addr == 172.66.135.3
```

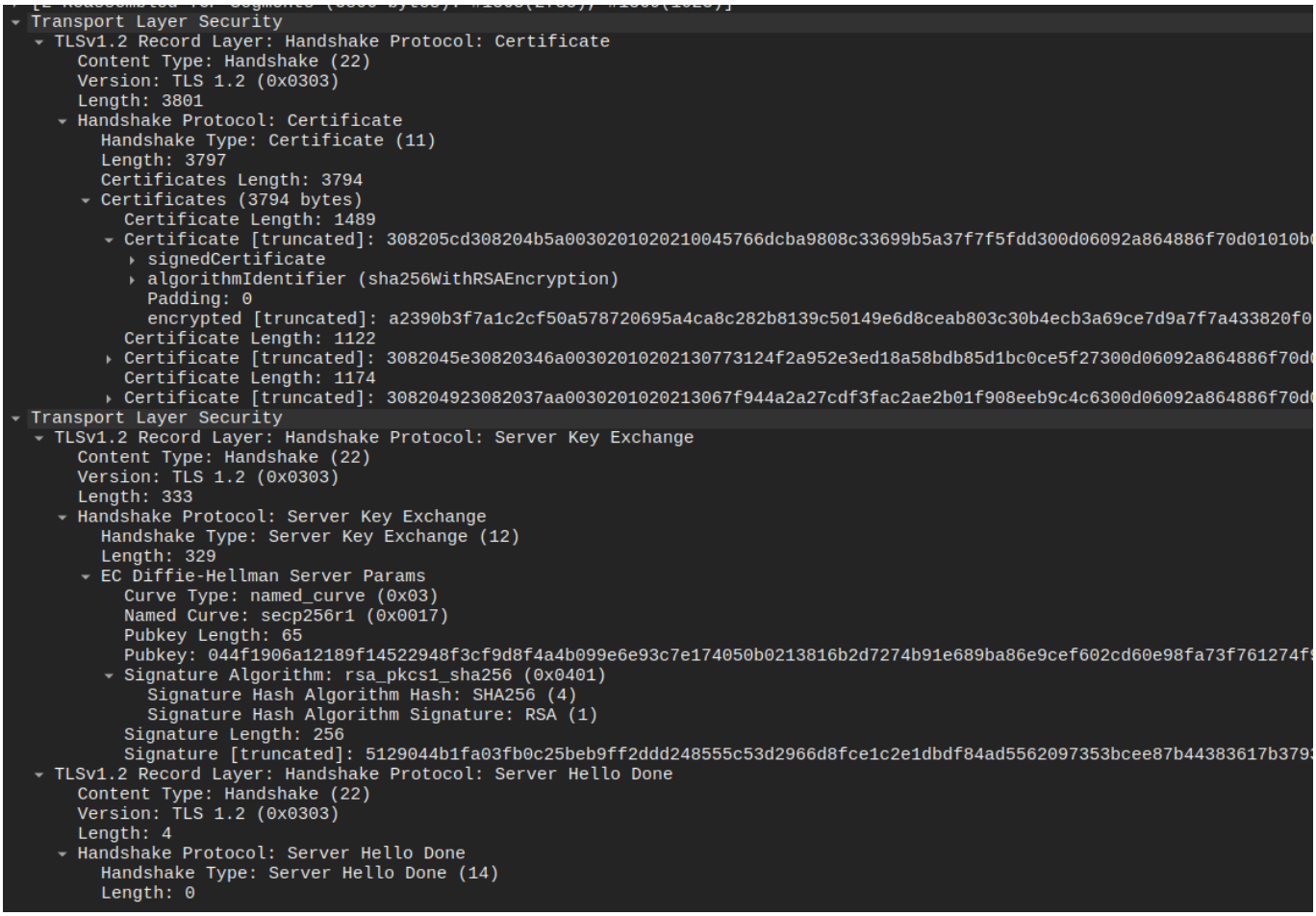
Beim initialen Verbindungsaufbau konnte ich den TLS Handshake beobachten:



Welche Metadaten werden übertragen?

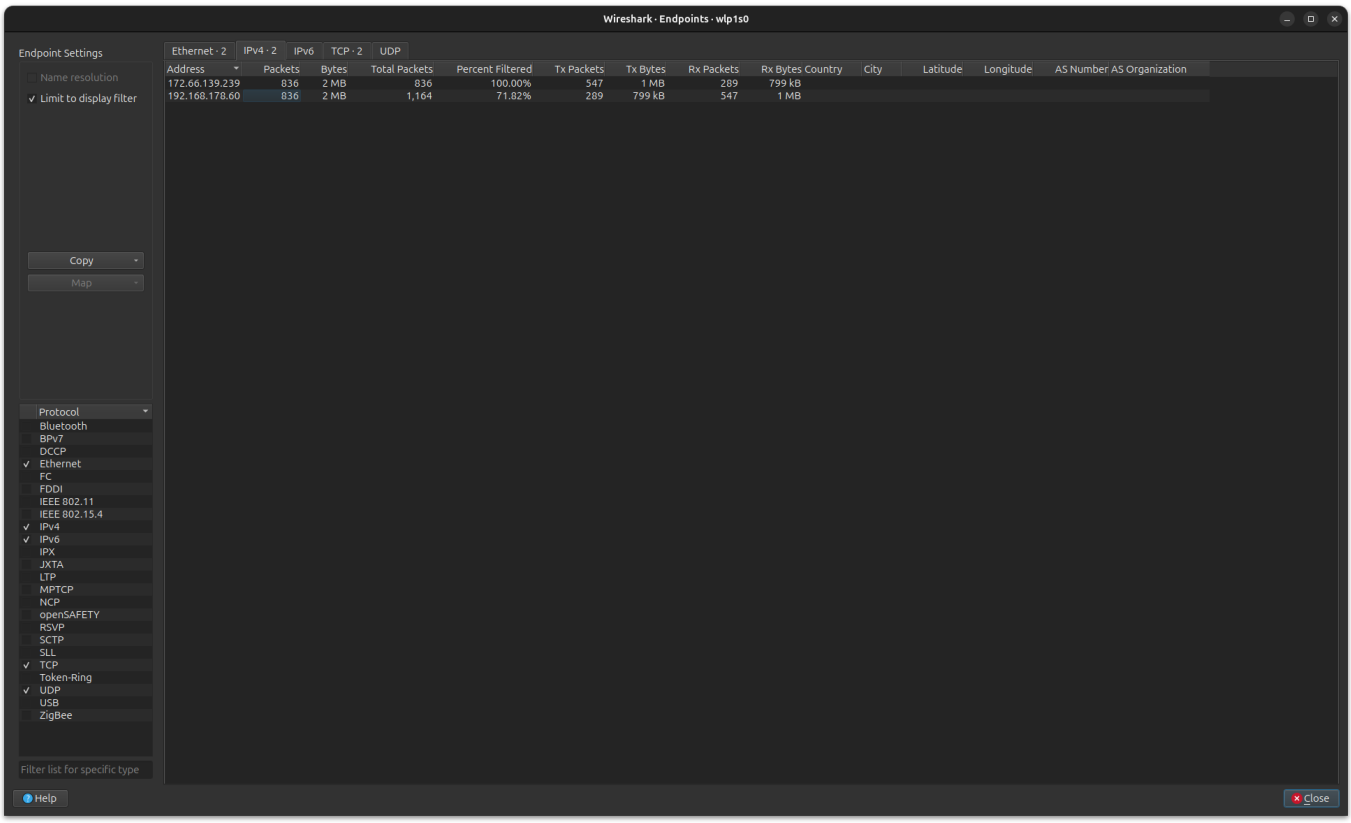
Im TLS Handshake kann man den SNI (Server Name Indication) sehen, welcher den Domain Namen des Homeservers überträgt: `matrix-client.matrix.org` Ein Beobachter kann so sehen, dass der Nutzer sich gerade mit dem Matrix Server verbindet. Innerhalb des TLS Handshakes kann auch die verwendete TLS Version (TLS 1.3) und die unterstützten Cipher Suites eingesehen werden. Es kann in der Server Hello Nachricht auch die ausgewählte Cipher Suite eingesehen werden: `TLS_AES_128_GCM_SHA256`.

Mit dem Filter `tls.handshake.type == 11` können die im Handshake übertragenen Zertifikate eingesehen werden:

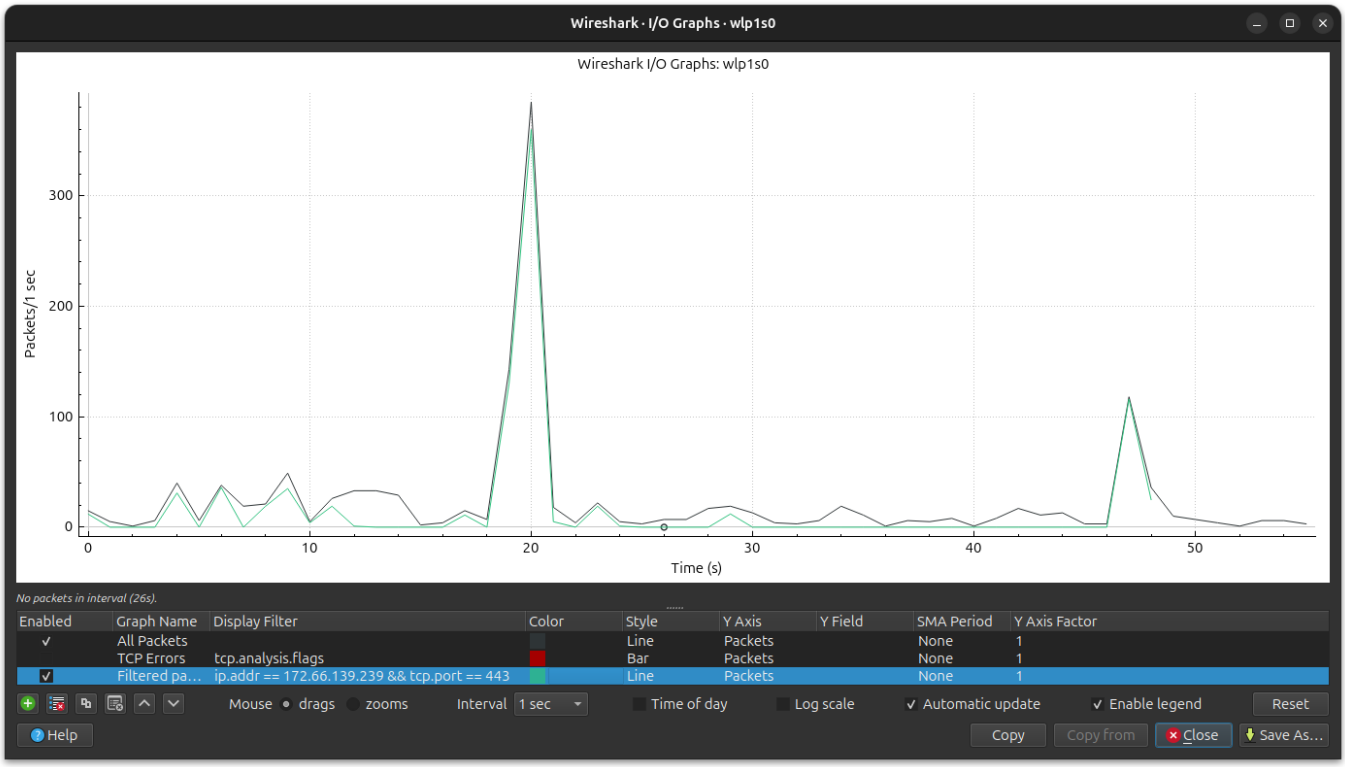


Im Mitschnitt sind TLS-1.2 Handshakes sichtbar, in denen der Server X.509-Zertifikate überträgt. Daraus lassen sich Metadaten wie Issuer (z.B. DigiCert SHA2 Secure Server CA), Zertifikatskette, Signaturalgorithmus (z.B. sha256WithRSAEncryption), Gültigkeitsdaten und weitere Extensions ableiten.

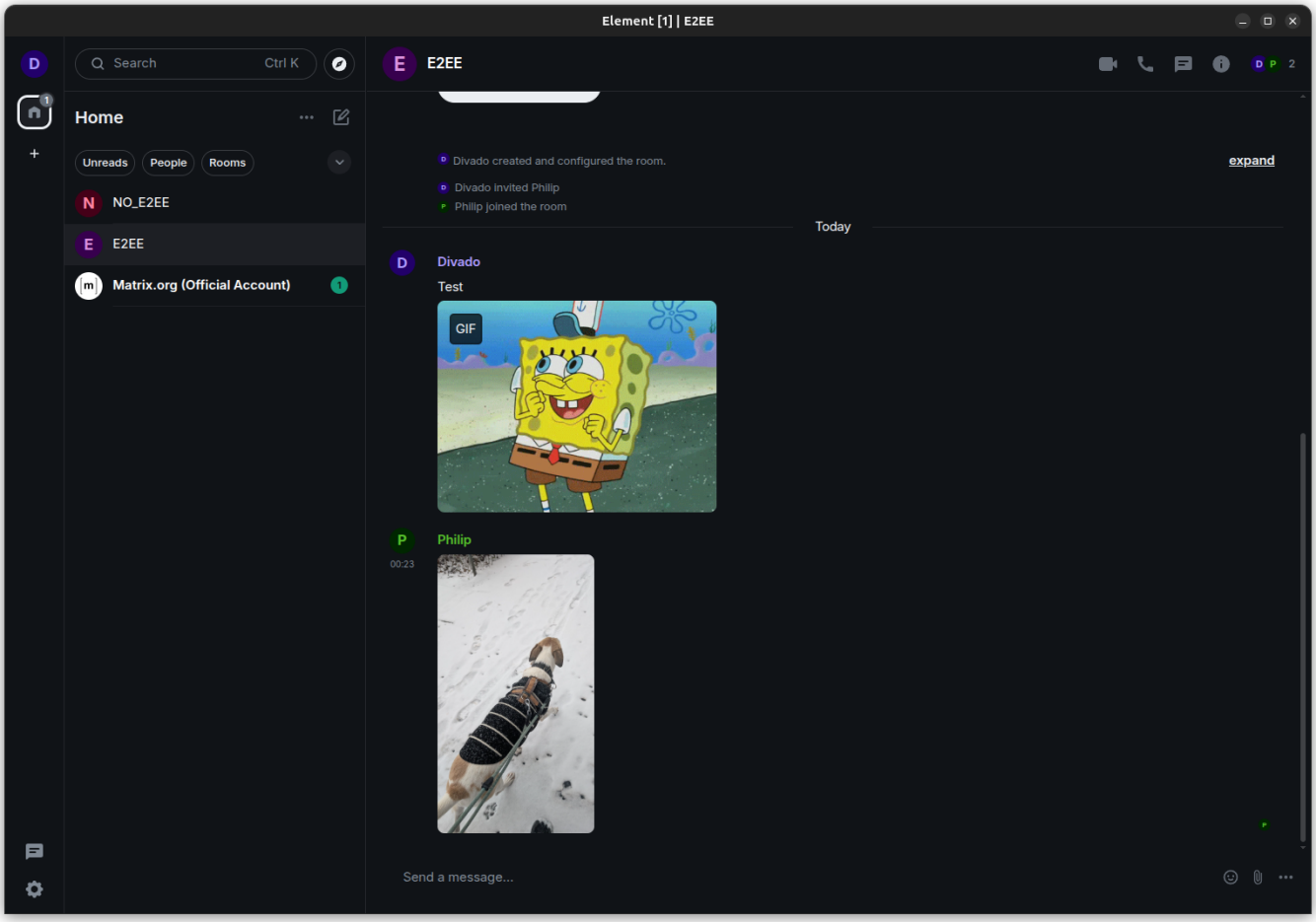
In Wiresharks Statistikübersicht sind weitere interessante Metadaten ersichtlich, wie z.B. die Anzahl der übertragenen Pakete, Bytes, die Verteilung der Protokolle und die Kommunikationspartner:

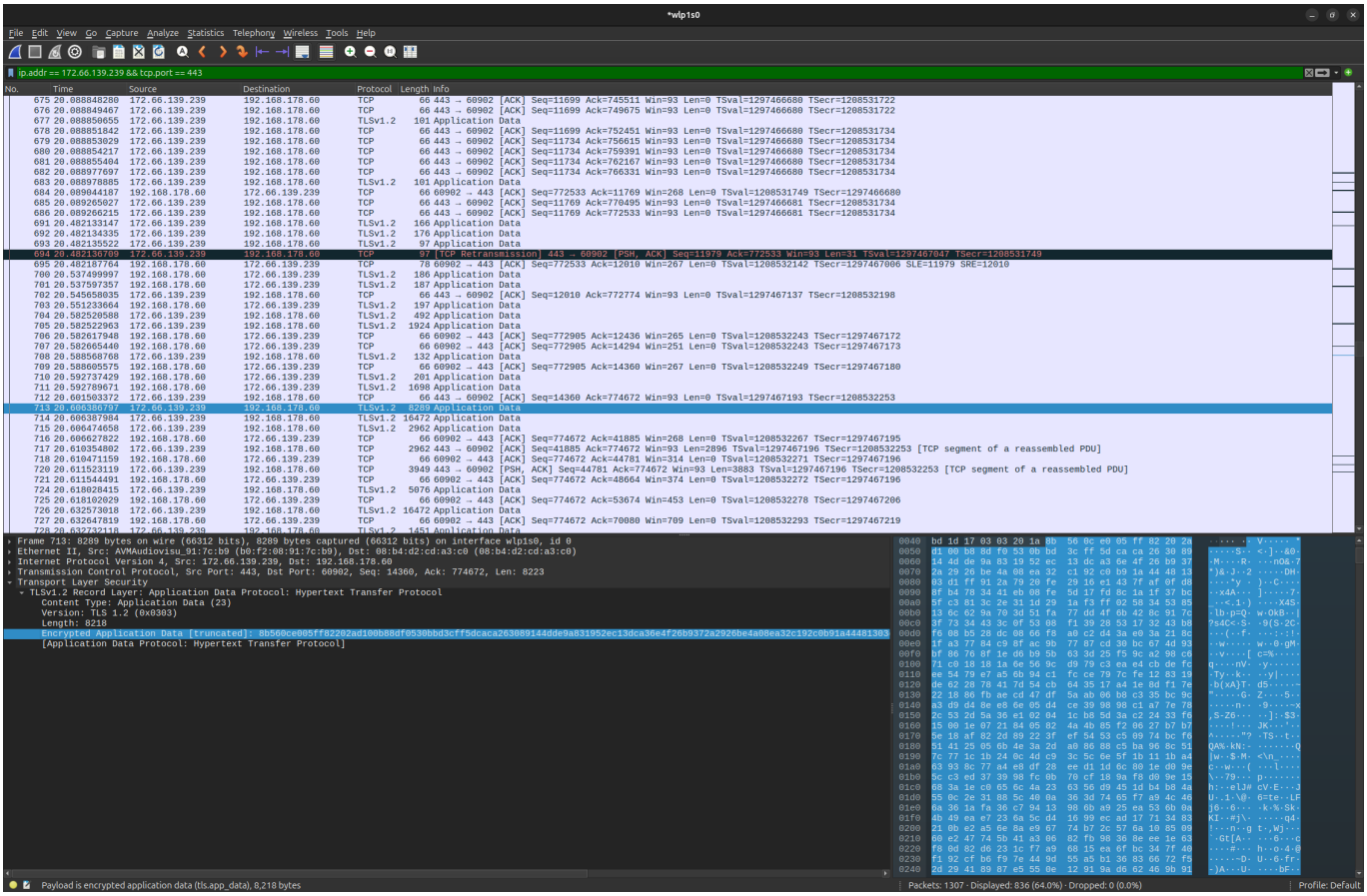


Wir können hier bei beiden Partnern sehen, dass jeweils ca. 1 MB an Daten übertragen wurden, was für eine reine Textübertragung recht viel erscheint. Kombiniert man dies mit der I/O Graphenansicht, so kann man den Datenfluss über die Zeit beobachten und evtl. das senden und empfangen von Nachrichten trotz TLS und E2EE Verschlüsselung korrelieren:



Die im Chat gesendeten Inhalte sind durch die Verschlüsselung, im Capture, weiterhin nicht lesbar:





Im TLS-verschlüsselten Datenverkehr zur Matrix-IP lassen sich zeitlich klar abgegrenzte Paket-Bursts beobachten. Jeder Burst umfasst mehrere TLS-Application-Data-Records sowie ACKs, die innerhalb weniger hundert Millisekunden übertragen werden, und steht in Zusammenhang mit einer Nutzeraktion (z. B. dem

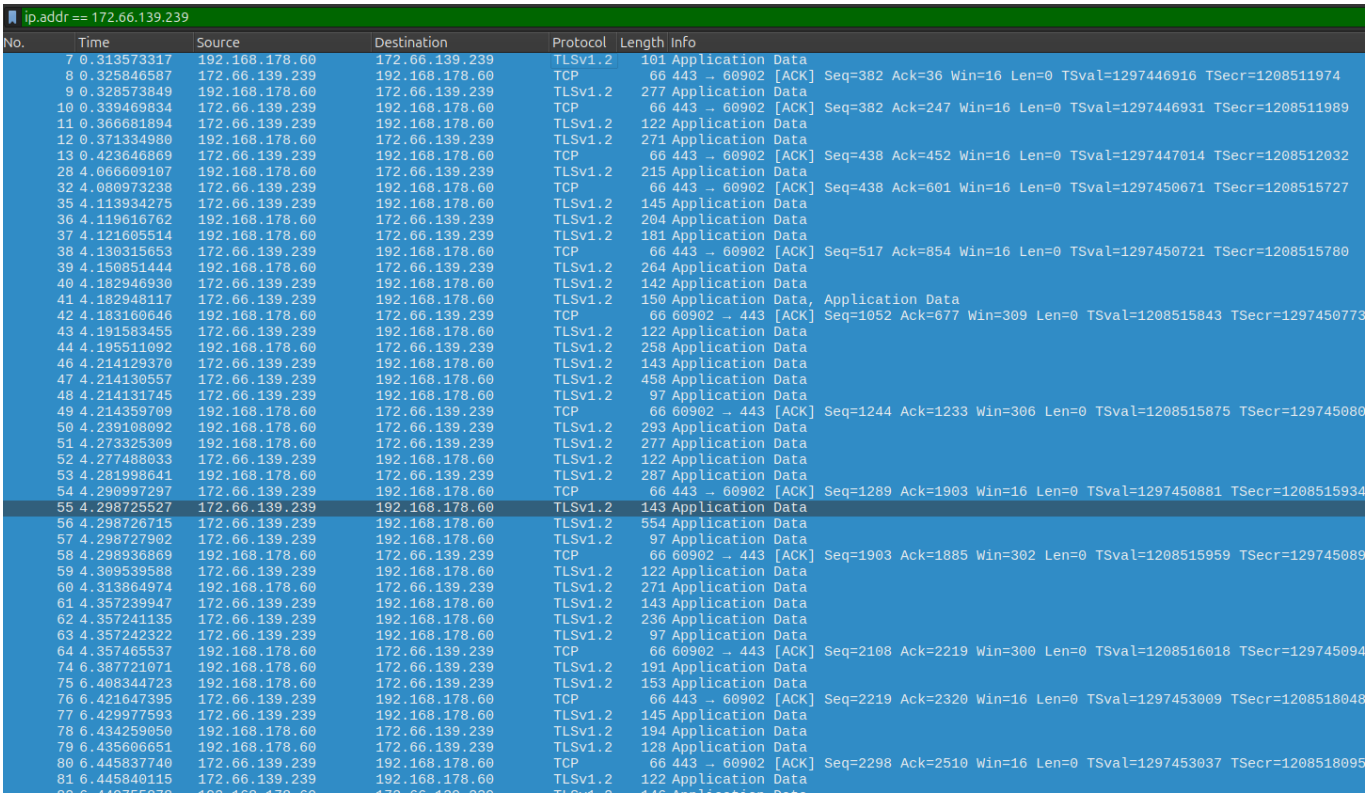
Senden oder Empfangen einer Nachricht). Ohne Entschlüsselung von TLS bleibt der eigentliche Payload jedoch nicht interpretierbar.

Textnachrichten führen zu kurzen Bursts mit einer geringeren Anzahl und kleineren Paketen. Der Versand von Medieninhalten (z. B. Bildern oder Videos) hingegen erzeugt deutlich größere Bursts mit vielen großvolumigen TCP-Segmenten. Auch ohne Entschlüsselung des Payloads bleiben zeitliche Muster, Burst-Größen und übertragene Datenmengen erkennbar. Insbesondere der Medienversand lässt sich aufgrund des stark erhöhten Traffic-Volumens eindeutig identifizieren.

5. TLS-Interception und Analyse

Sind die Netzwerkverbindungen, zusätzlich zur E2EE, transportverschlüsselt (z.B. TLS)?

Ja, dies wurde bereits im vorangehenden Abschnitt gezeigt.



ip.addr == 172.66.139.239

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
7	0.313573317	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	101	Application Data
8	0.325846587	172.66.139.239	192.168.178.60	TCP	66	443 → 60902 [ACK] Seq=382 Ack=36 Win=16 Len=0 TSval=1297446916 TSecr=1208511974
9	0.328573849	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	277	Application Data
10	0.339469834	172.66.139.239	192.168.178.60	TCP	66	443 → 60902 [ACK] Seq=382 Ack=247 Win=16 Len=0 TSval=1297446931 TSecr=1208511989
11	0.366681894	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	122	Application Data
12	0.371334980	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	271	Application Data
13	0.423646869	172.66.139.239	192.168.178.60	TCP	66	443 → 60902 [ACK] Seq=438 Ack=452 Win=16 Len=0 TSval=1297447014 TSecr=1208512032
28	4.066609107	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	215	Application Data
32	4.080973238	172.66.139.239	192.168.178.60	TCP	66	443 → 60902 [ACK] Seq=438 Ack=601 Win=16 Len=0 TSval=1297450671 TSecr=1208515727
35	4.113934275	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	145	Application Data
36	4.119616762	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	204	Application Data
37	4.121605514	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	181	Application Data
38	4.130315653	172.66.139.239	192.168.178.60	TCP	66	443 → 60902 [ACK] Seq=517 Ack=854 Win=16 Len=0 TSval=1297450721 TSecr=1208515780
39	4.150851444	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	264	Application Data
40	4.182946930	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	142	Application Data
41	4.182948117	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	150	Application Data, Application Data
42	4.183160646	192.168.178.60	172.66.139.239	TCP	66	60902 → 443 [ACK] Seq=1052 Ack=677 Win=309 Len=0 TSval=1208515843 TSecr=1297450773
43	4.191583455	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	122	Application Data
44	4.195511092	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	258	Application Data
46	4.214129370	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	143	Application Data
47	4.214130557	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	458	Application Data
48	4.214131745	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	97	Application Data
49	4.214359709	192.168.178.60	172.66.139.239	TCP	66	60902 → 443 [ACK] Seq=1244 Ack=1233 Win=306 Len=0 TSval=1208515875 TSecr=129745080
50	4.239108092	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	293	Application Data
51	4.273325309	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	277	Application Data
52	4.277488033	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	122	Application Data
53	4.281998641	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	287	Application Data
54	4.290997297	172.66.139.239	192.168.178.60	TCP	66	443 → 60902 [ACK] Seq=1289 Ack=1903 Win=16 Len=0 TSval=1297450881 TSecr=1208515934
55	4.298725527	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	143	Application Data
56	4.298726715	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	554	Application Data
57	4.298727902	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	97	Application Data
58	4.298936869	192.168.178.60	172.66.139.239	TCP	66	60902 → 443 [ACK] Seq=1903 Ack=1885 Win=302 Len=0 TSval=1208515959 TSecr=129745089
59	4.309539588	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	122	Application Data
60	4.313864974	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	271	Application Data
61	4.357239947	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	143	Application Data
62	4.357241135	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	236	Application Data
63	4.357242322	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	97	Application Data
64	4.357465537	192.168.178.60	172.66.139.239	TCP	66	60902 → 443 [ACK] Seq=2108 Ack=2219 Win=300 Len=0 TSval=1208516018 TSecr=129745094
74	6.387721071	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	191	Application Data
75	6.408344723	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	153	Application Data
76	6.421647395	172.66.139.239	192.168.178.60	TCP	66	443 → 60902 [ACK] Seq=2219 Ack=2320 Win=16 Len=0 TSval=1297453009 TSecr=1208518048
77	6.429977593	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	145	Application Data
78	6.434259050	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	194	Application Data
79	6.435606651	192.168.178.60	172.66.139.239	TLSv1.2	128	Application Data
80	6.445837740	172.66.139.239	192.168.178.60	TCP	66	443 → 60902 [ACK] Seq=2298 Ack=2510 Win=16 Len=0 TSval=1297453037 TSecr=1208518095
81	6.445840115	172.66.139.239	192.168.178.60	TLSv1.2	122	Application Data

Die Client-Server-Kommunikation von Matrix, im Fall von Element, ist neben der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung zusätzlich durch Transportverschlüsselung abgesichert. In den Netzwerkaufzeichnungen sind TLS-Handshakes erkennbar (ClientHello, Handshake-Typ 1), einschließlich SNI mit dem Eintrag `matrix-client.matrix.org`.

5.1 MitM Attacke

Zuerst habe ich `mitmproxy` installiert um den TLS Verkehr zu intercepten:

```
sudo apt install -y mitmproxy
```

Anschließend habe ich `mitmproxy` auf Port `8080` gestartet:

```
mitmproxy -p 8080
```

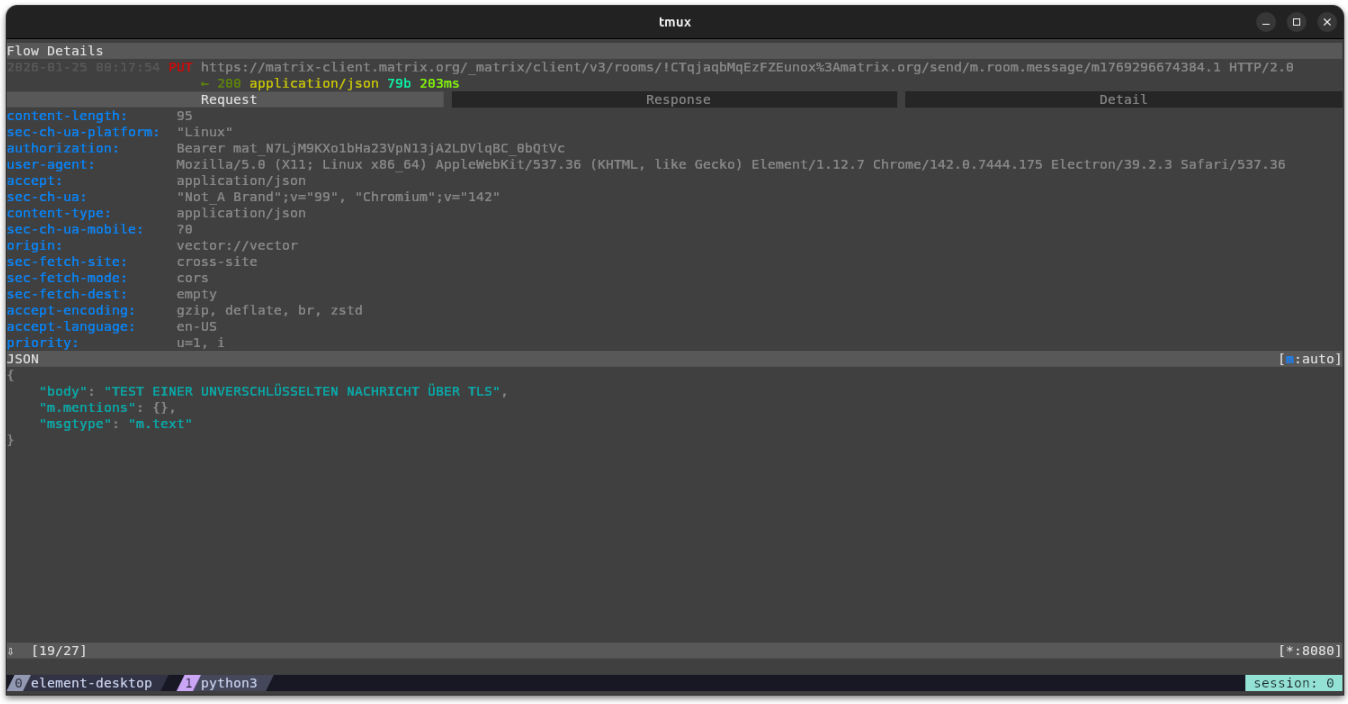
Da es sich beim Element Client um eine Electron App handelt, musste ich das Proxy Zertifikat in eine NSS Datenbank importieren. Dazu habe ich die folgenden Commands genutzt:

```
mkdir -p ~/.pki/nssdb

certutil -N -d sql:$HOME/.pki/nssdb

certutil -A \
  -n "mitmproxy CA" \
  -t "C,," \
  -i ~/.mitmproxy/mitmproxy-ca-cert.pem \
  -d sql:$HOME/.pki/nssdb
```

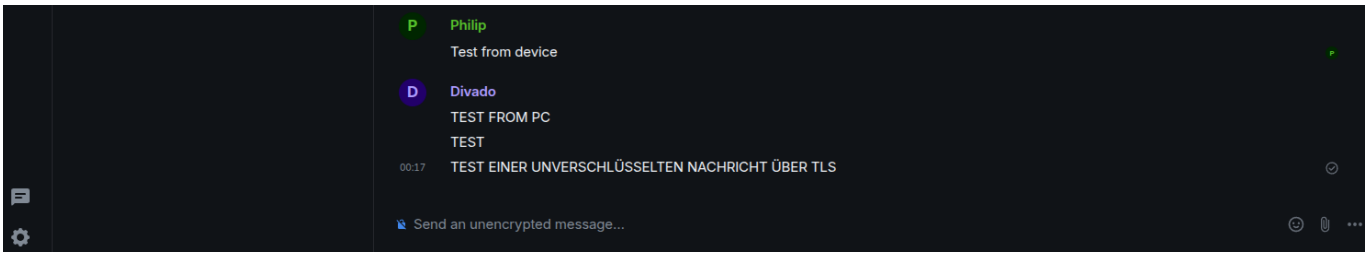
Anschließend konnte ich den Element Client über die Konsole mit folgendem Command starten, damit der Proxy genutzt wird:

```
element-desktop --proxy-server="http://127.0.0.1:8080"
```

Als Test habe ich eine unverschlüsselte Nachricht in dem nicht Ende-zu-Ende verschlüsselten Raum gesendet. In `mitmproxy` konnte ich die Nachricht im Klartext sehen:

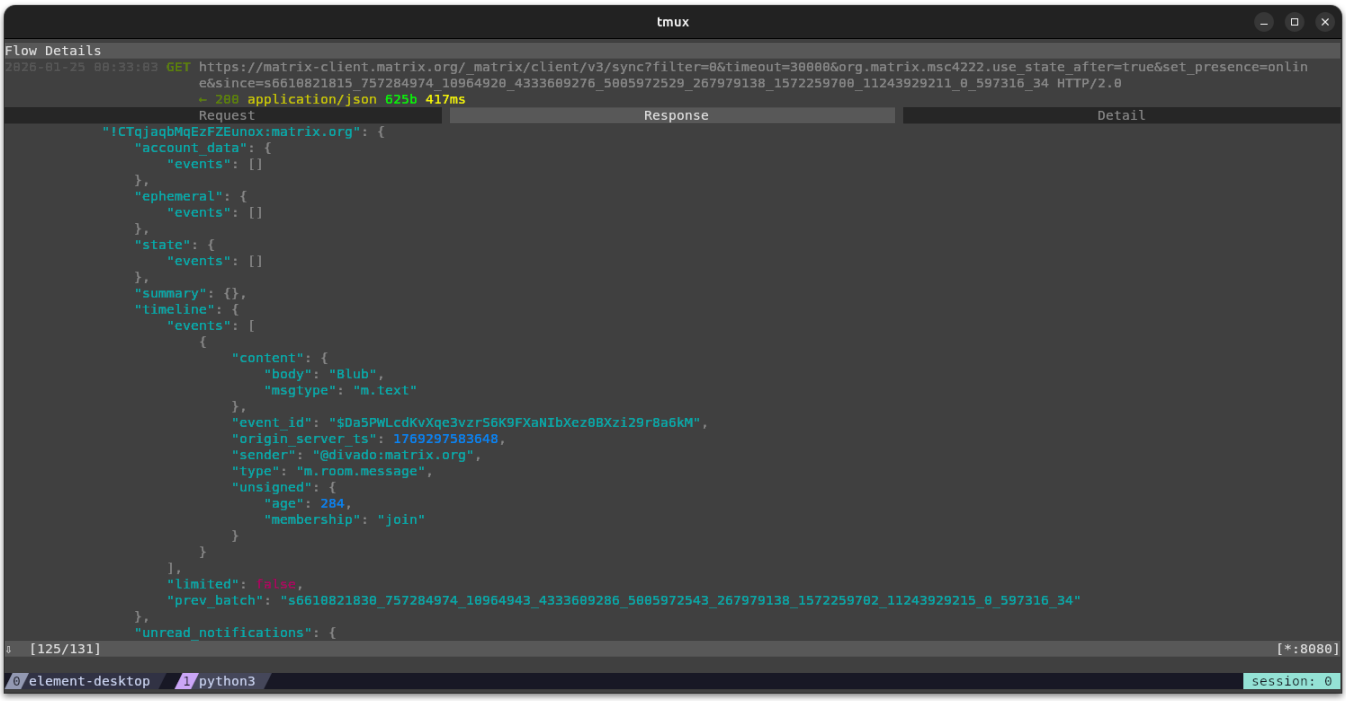


Nachfolgend die gesendete Nachricht im Element Client:

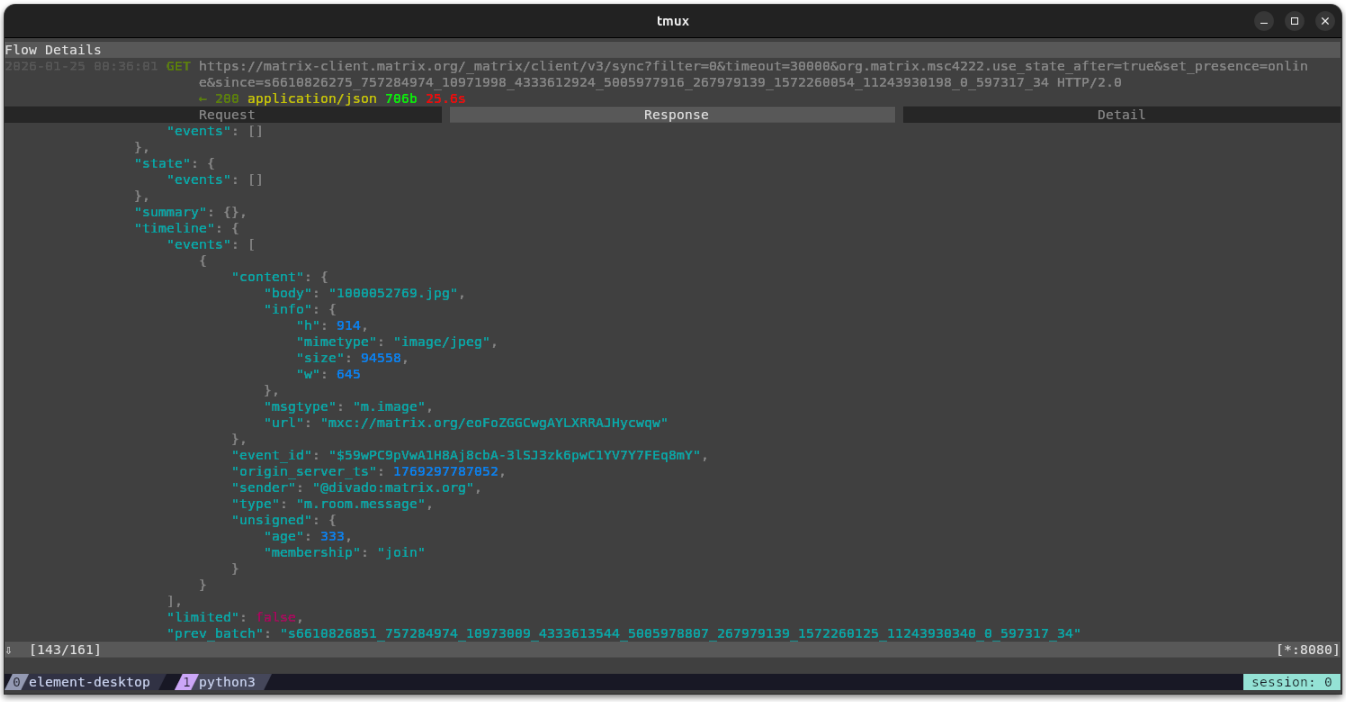


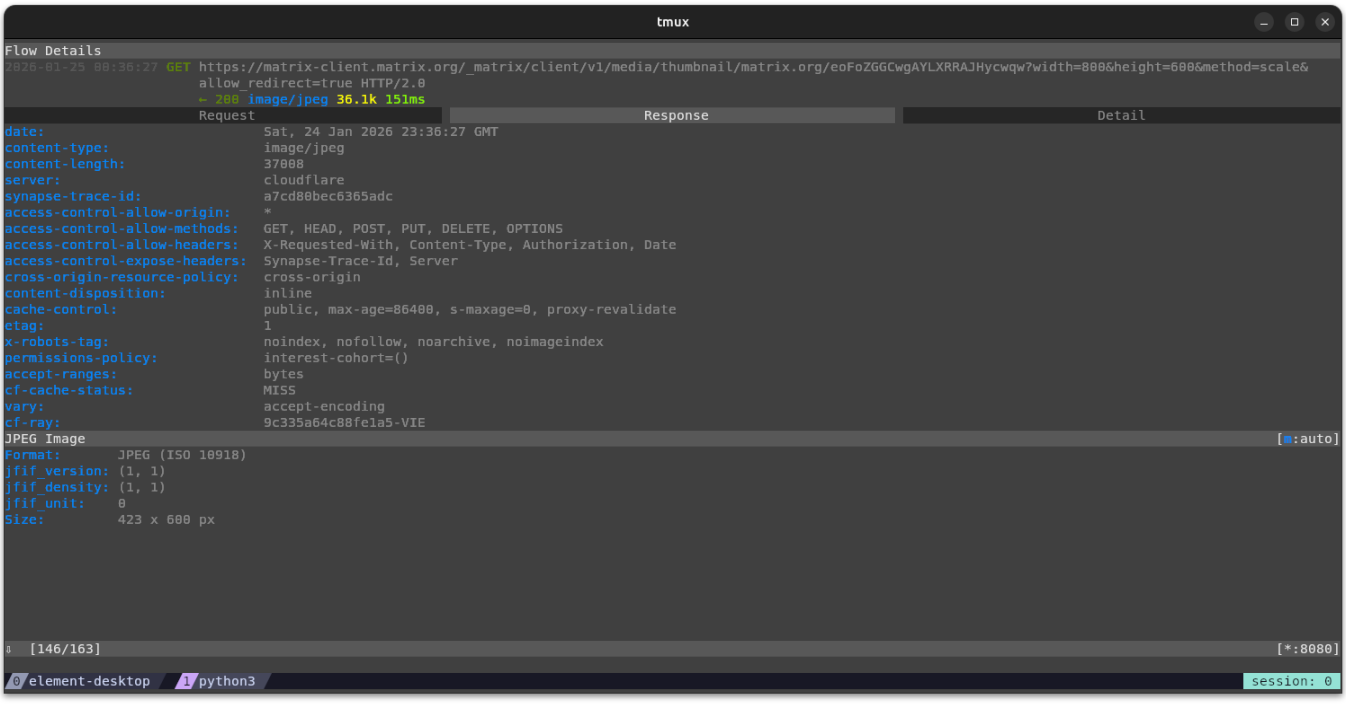
Im Auszug aus dem `mitmproxy` Capture ist die unverschlüsselte Nachricht "TEST EINER UNVERSCHLÜSSELTEN NACHRICHT ÜBER TLS" klar lesbar. Dies bestätigt, dass der TLS-Verkehr erfolgreich abgefangen und entschlüsselt wurde. Außerdem kann man sehen, an welchen Raum die Nachricht gesendet wurde.

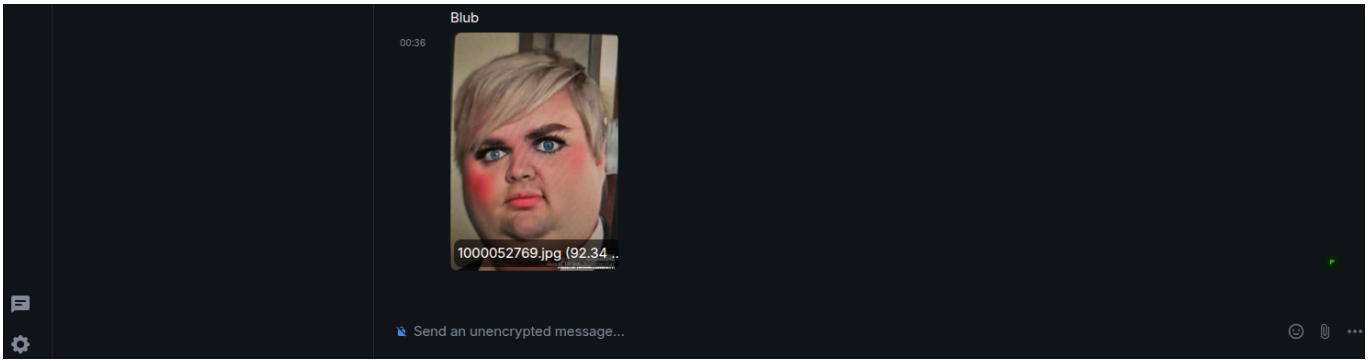
Im folgenden Screenshot ist auch eine eingehende Nachricht, welche vom Handy und nicht E2EE gesendet wurde, im Klartext sichtbar:



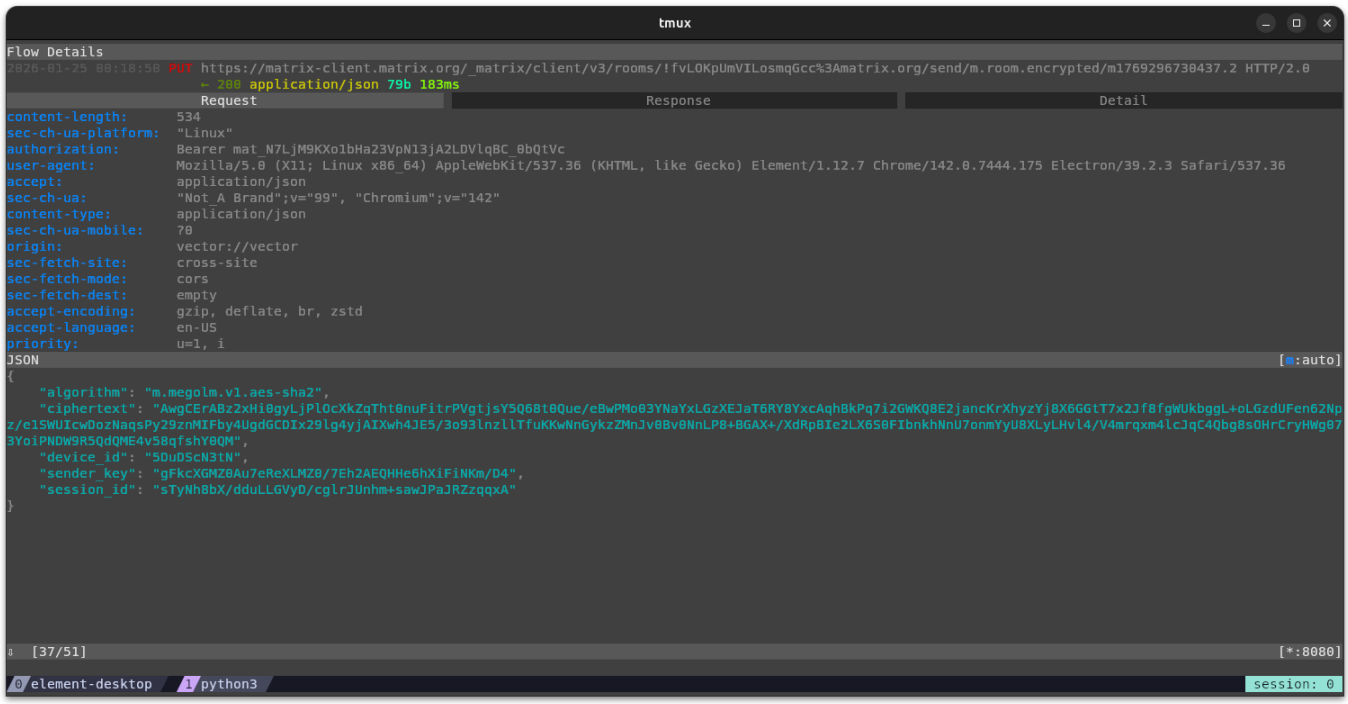
Ich konnte außerdem nachvolllziehen, wenn eine Nachricht ein Bild enthält. Die folgenden Screenshots zeigen die Übertragung eines Bildes im nicht Ende-zu-Ende verschlüsselten Raum. Im `mitmproxy` sind Informationen zum Bild ersichtlich, wie z.B. der Dateiname und die Dateigröße, der dritte Screenshot zeigt das Bild im Element Client:



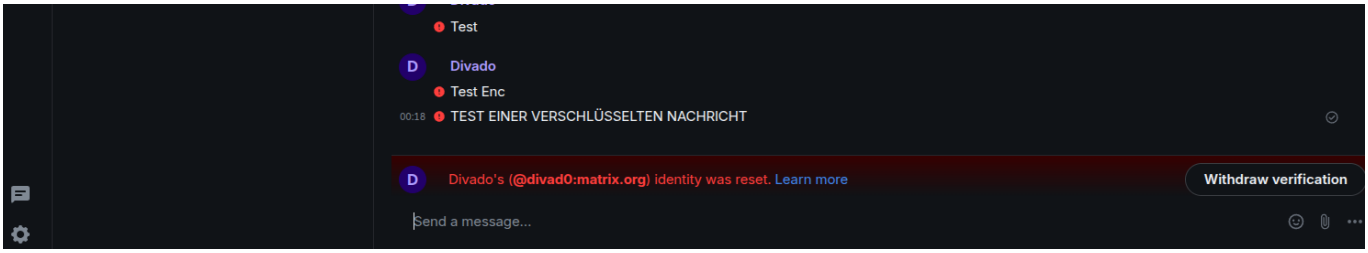




Als Vergleich habe ich anschließend versucht eine Nachricht in dem Ende-zu-Ende verschlüsselten Raum zu senden. In `mitmproxy` war die Nachricht jedoch nicht lesbar:



Nachfolgend die gesendete Nachricht im Element Client:



Im Auszug aus dem `mitmproxy` Capture ist die Ende-zu-Ende verschlüsselte Nachricht nicht lesbar. Dies bestätigt, dass trotz erfolgreichem TLS-MitM die eigentliche Chatnachricht durch die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung geschützt bleibt. Sichtbar ist nur der verwendete Algorithmus und die Raum ID, nicht jedoch der Nachrichteninhalt.

Quellen

1. https://spec.matrix.org/latest
2. https://element.io/de/features/device-verification
3. https://docs.rs/matrix-sdk/latest/matrix_sdk/encryption/index.html
4. https://docs.mitmproxy.org/stable/