

Der OpenPGP-Schlüssel 9F7A3119DF9110EB

Annie Yousar*

2021-01-13

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein OpenPGP-Schlüssel¹ analysiert und beschrieben, wie er wahrscheinlich am `genkey`-Kommando vorbei erzeugt wurde. Natürlich haben wir keinen Zugriff auf den privaten Schlüssel, aber wir zeigen hier, welche Strukturen und welche Kommandos dabei zum Ziel führen. Die Grundlage für unsere Untersuchung bildet die aktuelle Version [1] des Nachfolgers vom RFC 4880 [3] mit seiner bereits erfolgten ECC-Ergänzung, dem RFC 6637 [7]. Unsere GnuPG-Version ist 2.2.4, die von OpenSSL ist 1.1.1f.

Auch wenn der Beitrag etwas lang erscheint, ist er doch schnell zu lesen, weil sich der Vollständigkeit halber die Ein- und Ausgabedaten mehrfach wiederholen.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|----------------------------|----|
| 1 | PGP Nachrichten und Pakete | 2 |
| 2 | Public Key Packet | 3 |
| 3 | User ID Packet | 8 |
| 4 | Signature Packet | 8 |
| 4.1 | Tag und Länge | 9 |
| 4.2 | Paket-Informationen | 10 |
| 4.3 | Signierte Daten | 11 |
| 4.4 | Unsignierte Daten | 15 |
| 4.5 | Signaturdaten | 15 |
| 4.6 | Signaturprüfung | 17 |
| 5 | Secret Key Packet | 18 |
| 6 | Subkey Packet | 24 |
| 7 | Subkey Signature Packet | 26 |
| 8 | Die Prüfsumme am Ende | 30 |

*<mailto:a.yousar@informatik.hu-berlin.de>

¹<https://keys.openpgp.org/vks/v1/by-fingerprint/222E67EA2AA253A967408ABE9F7A3119DF9110EB>

1 PGP Nachrichten und Pakete

Alle OpenPGP-Nachrichten bestehen aus verschiedenen TLV-Strukturen², die in PGP traditionell *Pakete* heißen. Sie können aneinandergereiht und verschachtelt sein. Das erste Byte eines Pakets ist immer das *Tag*³, das den Typ des Inhalts bestimmt. Ihm folgen dann die Längenbytes und der eigentliche Paket-Inhalt. Während der normative RFC 4880 [3] mit den Definitionen und Beschreibungen beginnt, gehen wir hier einen mehr ingenieurmäßigen Weg. Wir geben die Struktur an und lernen dabei ihre Bestandteile kennen.

Wir werden im Folgenden den einfach strukturierten Schlüssel

```
-----BEGIN PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
```

```
xliEXgvhABMIkoZIzjODAQCcAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxy0kCJHgXi+R/EG+G/  
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLrioDb+IK5uZenyCJu5KavT6MLzTVFcm5zdCBHIEdp  
ZXNzbWFubiA8Z2llc3NtYW5uQGluZm9ybWFOaWsuaHUtYmVybGluLmRlPslADgQT  
EwgAdhYhBCIuZ+oqol0pZOCKvp96MRnfkRDrBQJeC+EBAhsDBQkUt8J/BQsJCAcC  
BRUKCQgLBbYCAwE4Gmh0dHA6Ly93d3cuaw5mb3JtYXRpay5odS1iZXJsaW4uZGUv  
fmdpZXNzbWFuL2dWZy1jcC50eHQCHgECF4AACgkQn3oxGd+RE0u9EAEA8At3K5XP  
qHenbyU5jDXrjs+6L9/Mgd6bwjDCyyC4nBoBAPc6pgo5mh2pdIMv8RhUrbfAwzt0  
axBBFCEQzSgugd43zsDFBF4TS3ABC8DGGkyFsr7/4DsvGDWBYqzXRnlwG6kHuX8  
//ErnstG+Giessmann//db5W1inL87dyI4QMt0ix7y0pBmcHx+KytXQFL70as7z9  
MRhpZKTZnDt0jHtv9a2Gv/Z+tzT0/aY4poTuo2VHQqjXLd8o+ExDgS3oRkAn0Vpw  
fH4rIxGGlkpNmfP003SM2/1rYa/9n63NPT9pjimh06jZUdCqNct3yj4TEOBLHG  
QCc5WkNyJM7Xd0pacI9jUgTeyj9xJaRjM7/23GKwvYPD6spBm05voBxHGIQJbr/7  
QMxIWOQkfT6gRpEFI6IOMt59MHksbA+ZDVJG8xRtAT//oeZ9Gkjk+w12Xf+5vrne  
7Se4+SKNEt/arXNHZ1D5L8M4z7d+Nihd5HOUehquqsUKa200uPWJvaRLrfue4sf  
S8wxZhF22QOS0vf0Eenshn4H2I5qh1pV57htk2poPBvvsuBmIMdfZFZ3dWrTE8TmL  
BUB2hci+CCz08FGbVzu5ABdAAAHCAeAQYEwgAIBYhBCIuZ+oqol0pZOCKvp96MRnf  
kRDrBQJeOtxAhsMAAoJEJ96MRnfkRDrXKMA/jnTE7vNWuiTsYy+TvCRdDfrjN5B  
xamgfZk1jqTkvBRwAQDARsh5+vzZ7kOCqLkBcx8pMPoc2M91BSvLZWYReLqU0g==  
=++++
```

```
-----END PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
```

analysieren und seine Struktur bis ins letzte Byte aufklären. Wir gehen dabei auch auf die Buchstabenfolge /EG+G/ in der ersten Zeile ein. Der aufmerksamen Leserin ist wahrscheinlich auch der Name am Zeilenanfang in der Mitte des Schlüssels nicht entgangen. Wir kennen diese Folge ja bereits aus dem Schlüssel des vergangenen Jahrzehnts.

Die Pakete dieses Schlüssels kann man sich mit dem Kommando⁴

```
sed '/^[-=]/d' | base64 -d | gpg --list-packets | sed '/^\t/d'
```

schon vorab ansehen⁵:

²TLV bedeutet *Tag-Length-Value*.

³*tag* (engl.) Anhängsel oder Etikett

⁴Die verwendeten Kommandos werden wir nicht erklären. Sie sind getestet, aber vielleicht nicht immer die kürzeste Lösung. Andere Vorschläge mit üblichen Shell-Kommandos (bash) sind selbstverständlich gern gesehen. Die Eingabe ist meist stdin und ergibt sich eigentlich immer aus dem Zusammenhang. Die Ausgaben werden zur Unterscheidung von den Kommandos selbst etwas eingerückt dargestellt.

⁵Normalerweise kann man die aus diesem Dokument kopierten Daten direkt verwenden. Bei den Schlüsseldaten erhält man dabei jedoch eine Fehlermeldung, weil im PDF-Dokument die Leerzeile vor dem base64-kodierten Block fehlt. Deshalb ist hier der Umweg (base64 -d) über die Binärdaten erforderlich.

```

# off=0 ctb=c6 tag=6 hlen=2 plen=82 new-ctb
:public key packet:
# off=84 ctb=cd tag=13 hlen=2 plen=53 new-ctb
:user ID packet: "Ernst G Giessmann <giessmann@informatik.hu-berlin.de>"
# off=139 ctb=c2 tag=2 hlen=3 plen=206 new-ctb
:signature packet: algo 19, keyid 9F7A3119DF9110EB
# off=348 ctb=ce tag=14 hlen=3 plen=389 new-ctb
:public sub key packet:
# off=740 ctb=c2 tag=2 hlen=2 plen=120 new-ctb
:signature packet: algo 19, keyid 9F7A3119DF9110EB

```

Ohne den zweiten sed-Filter ist die Ausgabe natürlich ausführlicher und mit der GPG-Option `-v` werden auch noch einige Datenfelder explizit angegeben.

Wir werden nun diese fünf Pakete untersuchen und dazu dann auch die Struktur des zugehörigen privaten Schlüssel beschreiben, ohne ihn tatsächlich zu kennen.

2 Public Key Packet

Wir betrachten dazu die Binärdaten des Schlüssels und suchen das erste Paket⁶.

```

c652045e0be10013082a8648ce3d030107020304d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aecc723a4089
1e05e2f91fc41be1bf9823a96d44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226e
e4a6af4fa30bcd3545726e737420472047696573736d616e6e203c67696573736d616e6e40696e
666f726d6174696b2e68752d6265726c696e2e64653ec2c00e041313080076162104222e67ea2a
a253a967408abe9f7a3119df9110eb05025e0be101021b03050914b7c27f050b0908070205150a
09080b0416020301381a687474703a2f2f7777772e696e666f726d6174696b2e68752d6265726c
696e2e64652f7e67696573736d616e2f6770672d63702e747874021e01021780000a09109f7a31
19df9110ebbd100100f00b772b95cfa877a76f25398c35eb8ecfba2fdfcc81de9bc230c2cb20b8
9c1a0100f73aa60a399a1da974832ff11854adb7c0c33b4e6b1041142110cd282e81de37cec0c5
045e134b70010bc0c61a4c85b2b6fbff80ecbc60d6058ab35d19e5c06ea41ee5fcfff12b9ecb46
f8689eb2c99a9e7fff75be56d629cbf3b77223840cb4e8b1ef2d29066707c7e2b2b714052fb39a
b3bcfd31186964a4d99c3b748c7b6ff5ad86bff67eb734f4fda638a684eea3654742a8d72ddf28
f84c43812de8464027395a707c7e2b231186964a4d99f3f43b748c7b6ff5ad86bff67eb734f4fd
a638a684eea3654742a8d72ddf28f84c43812de8464027395a437224ced7774a5a708f635204de
ca3f7125a46333bff6dc6296bd83c3eaca419b4e6fa01c471884096ebffb40cc485a84247d3ea0
46910523a20e32de7d30792c6c0f990d5246f3146d013fffa1e67d1a4264fb09765dfb9beb9de
ed27b8f9228d12dfdaad73476650f92fc338ccceddf8d8a17791ce50486abaab1429ad8ed2e3d6
26f6912eb7ee7b8b1f4bcc31661176d90d123af7ce127b219f81f6239aa1d69579ee1b64da9a0f
06fbecb8198831d7d9159ddd5ab4c4f1398b05407685c8be082ccef0519b573bb90017400001c2
78041813080020162104222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb05025e134b71021b0c
000a09109f7a3119df9110eb5ca300fe39d313bbcd5ae893b18cbe4ef0917437eb8cde41c5a9a0
7d99358ea4e4bc14700100c0ad2879fafcd9ee4d02a8b901731f2930fa1cd8cf65052bc656c91
78ba943a

```

Das erste Paket beginnt mit `c6 52` und endet, wie wir gleich sehen werden, nach weiteren 82 Bytes mit `a3 0b`, nach vier Bytes in der dritten Zeile. Wir strukturieren diese Daten nun etwas und ver-

⁶Das entsprechende Kommando ist `sed '/^[^=]/d' | base64 -d > key.bin; xxd -p -c39 key.bin`. Wir merken uns für später auch gleich die Binärdaten als Datei `key.bin`.

wenden dabei eine solche Darstellung mit kurzen Kommentaren nach einem Doppelpunkt, aus der man leicht mit der Funktion

```
function rehex {
  sed '/^[-=]/d;s/ //g;s/:.*//' | xxd -p -r
}
```

und dem Kommando `rehex > first.packet` wieder die gleichen Binärdaten wie mit dem kommentarlosen `tail -c+1 key.bin | head -c84 > first.packet` erzeugen kann.

```
-----
c6 52      : public key packet
-----
          : packet tag 1100 0110
          : type "2#000110" aka type 6 (Public-Key packet [4.3])
          : packet length 0x52 : one octet : len=82 < 192
04        : version number
5e0be100  : key created 2020-01-01 00:00:00Z (1577833200)
13        : public key algorithm ECDSA (ID 19 [9.1])
08 2a8648ce3d030107 : curve OID : nistp256
0203      : public EC point als MPI (multi precision integer)
04        : public point format byte
          d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aecc723a40891e05e2f91fc41be1bf9823a96d
          44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226ee4a6af4fa30b
-----
```

Wenden wir uns zunächst *Tag* (0xc6) und *Länge* (0x52) des Pakets zu⁷. Für OpenPGP-Pakete gibt es das neue⁸ und das alte Längenformat. Aus Kompatibilitätsgründen werden Schlüsseldaten in der Regel im alten Längenformat exportiert. Der vorliegende öffentliche Schlüssel hat das neue Format. Wenn man ihn also importiert und danach wieder exportiert, wird sich seine ASCII-Darstellung ab der vierten Zeile völlig ändern, obwohl nur wenige Tag- und Längenangaben anders sind. Wir kommen darauf später noch einmal zurück.

Die ersten beiden (linken) Bits des Tag-Bytes 0xc6=2#11000110 sind beim neuen Format immer gesetzt, die restlichen bilden die Typ-Bits des Pakets. Hier haben wir also ein Paket vom Typ 6 (Public-Key Packet [1, 4.3]).

Wenn es kleiner als 192 ist, gibt das nächste (einzige) Längenbyte die Länge des folgenden Paket-Inhalts an. Wäre es größer als 191, würden weitere Längenbytes folgen. Wir beschäftigen uns mit diesem Fall später.

Es sind also 0x52=82 Bytes in diesem Paket und das Kommando `xxd -p -s0 -184 key.bin` liefert dann auch die einfache Hex-Darstellung des Pakets.

Zur Kontrolle eines mit Kommentaren formatierten Pakets zählen wir sicherheitshalber immer noch einmal nach⁹:

```
dc -e "$ ( rehex | wc -c ) 16op"
52
```

⁷Die Verweise in eckigen Klammern beziehen sich auf die entsprechenden Abschnitte im Internet Draft[1].

⁸Neu ist relativ. Schon im ersten RFC 2440 zu OpenPGP von 1998 war das so definiert.

⁹Wegen des `rehex`-Kommandos kann direkt aus dem obigen Text kopieren.

Das erste Inhalts-Byte eines Typ-6-Pakets ist immer das Versionsbyte. Alle Datenpakete im Schlüssel sind Version 4, daher können wir uns darauf beschränken. Nach dem Versionsbyte folgen dann der Zeitpunkt der Schlüsselerzeugung (vier Byte), der Schlüsseltyp (ein Byte) und schließlich die dem Schlüsseltyp entsprechenden Schlüsseldaten. In der Version 5 wird in diese Darstellung übrigens nur noch eine Längeninformation (vier Byte) vor den eigentlichen Schlüsseldaten eingefügt.

```
-----
04          : version number
5e0be100    : key created 2020-01-01 00:00:00Z (1577833200)
13          : public key algorithm ECDSA (ID 19 [9.1])
: 0000004C  : add the length of key data in v5
08 2a8648ce3d030107 : curve OID : nistp256
0203       : public EC point als MPI (multi precision integer)
04         : public point format byte
           d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aecc723a40891e05e2f91fc41be1bf9823a96d
           44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226ee4a6af4fa30b
-----
```

Wir haben hier also als Zeitpunkt der Schlüsselerzeugung 0x5e0be100 und den Schlüsseltyp 0x13 (dezimal 19) für EC-DSA.

Für die Konvertierung der hexadezimalen Zeitangabe der Epoch-Zeit (die Anzahl der Sekunden seit dem 1970-01-01 00:00 UTC) in das durch ISO-8601 standardisierte Format und wieder zurück verwenden wir die Kommandos:

```
dc -e "16o$( date +%s' --date='2020-01-01Z 00:00' )p"
   5E0BE100
date -u +%F %T %Z' --date="@$( ( 0x5E0BE100 ) )"
   2020-01-01 00:00:00 UTC
```

Zu einem öffentlichen ECDSA-Schlüssel (mit der ID 19 [1, 9.1]) gehören die entsprechende elliptische Kurve und die Koordinaten des öffentlichen Punktes. Die Kurve wird dabei als OID (*Object Identifier*) und der Punkt ohne Kompression angegeben.

Die ASN.1-Darstellung des OIDs einer Kurve findet man im Draft 4880bis [1, 9.2], oder man kann, wenn man den OID-Namen kennt, auch OpenSSL benutzen¹⁰:

```
openssl asn1parse -genstr OID:prime256v1 -noout -out - | xxd -p -s1
   082a8648ce3d030107
```

Bei der Umrechnung der Byte-Folge 082a8648ce3d030107 in einen Bezeichner muss man nur noch das ASN.1-Typbyte 06 für einen *Object Identifier* voranstellen:

```
echo "06 082a8648ce3d030107" | xxd -p -r | openssl asn1parse -inform der
   0:d=0 hl=2 l= 8 prim: OBJECT      :prime256v1
```

Der öffentliche Punkt wird in ASN.1 (vgl. [2, 2.3.5]) als Bytefolge kodiert, die aus dem Formatierungsbyte (0x04) und der *x*- und *y*-Koordinate mit jeweils führenden Nullen besteht. In OpenPGP wird genau diese Folge im Schlüssel-Paket als nur eine ganze Zahl (MPI¹¹) dargestellt. Das bedeutet, dass zuerst eine Bitlänge durch zwei Bytes angegeben wird und danach die Bytes der Zahl in

¹⁰Die Optionen *noout* und *out* scheinen sich zu widersprechen, beziehen sich jedoch auf verschiedene Bestandteile.

¹¹*multi precision integer*

big-endian Darstellung (*most significant byte first*) folgen. Bei einer 256-Bit-Kurve ist der öffentliche Schlüssel deshalb immer eine fiktive Zahl mit 515 Bits (0x0203), weil ja vom „obersten“ Format-Byte 0x04=2#00000100 nur drei Bits in die Zählung eingehen.

Damit ist der öffentliche Schlüssel beschrieben. Wir berechnen jetzt noch mit dem Kommando

```
rehex | base64 -w64
```

die entsprechende „ASCII-Rüstung“ (*ASCII armor*) des Pakets, also die Kodierung in base64:

```
xlIEXgvhABMIkoZIZj0DAQcCAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxy0kCJHgXi+R/EG+G/  
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLrioDb+IK5uZenyCJu5KavT6ML
```

Interessant ist die Zeichenfolge /EG+G/ am Ende der ersten Zeile. Will man eine bestimmte Folge im öffentlichen Schlüssel haben, dann muss man so lange Schlüsselpaare erzeugen, bis sich „zufällig“ die gesuchte Folge ergibt, denn eine direkte Berechnung des zugehörigen privaten Schlüssels geht natürlich nicht.

Für einen Schlüssel, bei dem die *x*-Koordinate des öffentlichen Punkt zwei führende Null-Bytes hat, würde man beispielsweise

```
t=$( openssl ecparam -genkey -name prime256v1 -outform der | tee x.der | xxd -p )
```

so lange ausführen, bis test "\${t:115:4}" -eq "0" wahr ergibt¹². Oder gibt es einen Trick, der schneller zum Ziel führt?

Bei der Darstellung des Pakets mit altem Längenformat ändert sich nur das erste Tag-Byte c5 zu 98. Beim Tag-Byte ist immer das erste Bit gesetzt, das zweite dagegen nur im neuen Format. Die unteren beiden Bit des Tags im alten Format geben an, wieviele Längenbytes folgen (00 – ein Längenbyte, 01 – zwei und 10 – vier Längenbytes), bei 11 ist die Länge des Paketinhalts unbestimmt. Nicht nur wegen der damit verbundenen Beschränkung auf 16 Paket-Typen, sondern auch wegen der Möglichkeit weiterer bestimmter Längenangaben ist das neue Längenformat flexibler.

Aus den verbleibenden mittleren Bits 0110 im Tag 0x98=2#10011000 ergibt sich nun wie vorher der Typ 6 (Public Key Packet).

Durch dieses Schlüsselpaket wird der so genannte Fingerprint und die Key ID bestimmt, deren Berechnung sich im Laufe der Zeit immer wieder mal geändert hat. Bei einem Schlüssel der älteren Version 3 bestand beispielsweise die Schlüssel-ID aus den unteren 64 Bit des RSA-Moduls und der Fingerprint wurde mit dem Hash-Algorithmus MD5 aus Modul und Exponent berechnet. Das ist natürlich nicht kollisionsresistent und kann sogar bewusst erzeugt werden.

Der Fingerprint in der Version 4 wird mit SHA-1 aus den folgenden Daten berechnet. Es beginnt mit dem Byte 0x99, darauf folgen zwei Längenbytes, die die Länge des gesamten Inhalts des Schlüsselpakets angeben und dann die Daten des Schlüsselpakets selbst. In unserem Fall also der Hash-Wert der folgenden Daten:

```
-----  
99 0052      : data to be hashed for fingerprint and Key ID  
-----  
04          : version number  
5e0be100    : key created 2020-01-01 00:00:00Z (1577833200)
```

¹²Mit `openssl ec -text -inform der -in x.der -noout` kann man sich den Schlüssel dann ansehen.

```

13          : public key algorithm ECDSA (ID 19 [9.1])
08 2a8648ce3d030107 : curve OID : nistp256
0203       : public EC point als MPI (multi precision integer)
04         : public point format byte
           d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aecc723a40891e05e2f91fc41be1bf9823a96d
           44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226ee4a6af4fa30b
-----

```

Schaut man sich das Tag-Byte 0x99=2#10011001 an, dann sieht man an den ersten beiden Bits 10, dass es sich um das „alte“ Längenformat handelt und an den letzten beiden Bits 01, dass für die Längeninformation zwei Bytes reserviert sind. Die verbleibenden Bits 2#0110=0x06 ergeben den Typ *Public Key Packet*. Es handelt sich also hier um ein reguläres OpenPGP-Paket, dessen Hash-Wert als Fingerprint verwendet wird, allerdings nicht um das Paket aus dem Schlüssel.

Mit dem Kommando

```
rehex | openssl sha1 -binary | xxd -p -c32 | sed 'p;s/.\{24\}///'
```

erhält man diesen Hash-Wert

```

222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb
9f7a3119df9110eb

```

Die unteren 64 Bit bilden dabei die Schlüssel-ID.

Der Vollständigkeit halber geben wir hier auch noch die Berechnung der Schlüssel-ID in der neuen Version 5 an. Statt des allgemein verpönten SHA-1 wird nun SHA-256 verwendet. Die Header-Bytes der Eingabedaten für die Hash-Funktion ändern sich auch noch einmal. Auf das Tag 0x9a folgen jetzt vier Längenbytes:

```

-----
9a 00000056 : data to be hashed
-----
05          : version number
5e0be100   : key created 2020-01-01 00:00:00Z (1577833200)
13         : public key algorithm ECDSA (ID 19 [9.1])
0000004c   : 4 bytes of the length of all the key data : added in v5
08 2a8648ce3d030107 : curve OID : nistp256
0203       : public EC point als MPI (multi precision integer)
04         : public point format byte
           d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aecc723a40891e05e2f91fc41be1bf9823a96d
           44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226ee4a6af4fa30b
-----

```

Auch 0x9a ist ein korrektes OpenPGP-Tag für den Typ 6 (Public Key Packet), das durch die unteren Bits 10 des Tags vier Längenbytes verlangt. Mit dem Kommando

```
rehex | openssl sha256 -binary | xxd -p -c32 | sed 'p;s/.\{48\}$///'
```

erhält man jetzt als Fingerprint

```

23b80ad55e7e41d7596d3963b678ccc0dc0b89cb580648a82fb5d10484d67fa6
23b80ad55e7e41d7

```

wobei in der Version 5 die oberen 64 Bit die Key-ID bilden.

3 User ID Packet

Nachdem wir das erste Paket mit Hilfe von Tag und Länge extrahiert haben, finden wir nun auch leicht das nächste Paket. Es beginnt mit cd 35 und endet nach 0x35=53 Bytes mit 65 3e in der Mitte der vierten Zeile (vgl. Seite 3)¹³.

```
-----
cd 35      : user ID packet
-----
          : packet tag 1100 1101
          : type "2#001101" aka type 13 (User ID packet [4.3])
          : packet length 0x35 : one octet : len=53 < 192
45726e737420472047696573736d616e6e203c67696573736d616e6e40696e66
6f726d6174696b2e68752d6265726c696e2e64653e
          : "Ernst G Giessmann <giessmann@informatik.hu-berlin.de>"
-----
```

Das User ID Packet enthält üblicherweise UTF8-kodierte Daten, die dem Schlüsselinhaber zugeordnet sind. Es gibt für den Inhalt keinerlei Vorgaben, jedoch hat sich hier die Adresse des Schlüsselinhabers in der vom RFC 5322 [5] definierten Form durchgesetzt. Um Darstellungsprobleme zu vermeiden, sollte man auch keine andere Kodierung verwenden.

Das hier beschriebene Paket hat auch wieder das neue Längenformat, das durch die ersten beiden Bits 11 des Tag-Bytes angezeigt wird. Die Typ-Bits 001101 des Tags ergeben den Typ 13 (User ID Packet [1, 4.3]) und, da das erste Längenbyte 0x35=53 kleiner als 192 ist, ist es zugleich die Gesamtlänge des Pakets.

Im alten Längenformat hätte das Paket übrigens das Tag-Byte 0xb4=2#10110100. Die Interpretation dieser Tag-Bits sollte der geneigten Leserin jedoch leicht fallen.

4 Signature Packet

Schlüssel und Nutzer-Name sind nun durch OpenPGP-Pakete beschrieben, aber noch nicht aneinander gebunden und noch ungeschützt. In einem Zertifikat würde diese Bindung durch eine Signatur der Zertifizierungsstelle vollzogen. Dabei werden dann auch noch zusätzliche Erweiterungen, wie beispielsweise der Ausstellername, die Schlüsselverwendung oder die Signaturrichtlinien mit erfasst und signiert. Nichts anderes passiert auch bei OpenPGP. Die gleichen Informationen finden wir im Signatur-Paket, das wir nun im Einzelnen behandeln¹⁴.

```
-----
c2 c00e : signature packet
-----
          : packet information
04          : version : 4
13          : signature type : 19
13          : signature algorithm : 19 : ECDSA
08          : hash algorithm 08 : sha256
```

¹³`xxd -s84 -155 -c20 -g10 key.bin`

¹⁴`xxd -p -s139 -1209 key.bin`

```

: signed attributes
0076      : length of hashed sub packets in bytes [5.2.3.1]
          : each subpacket is LTV (length type value) [Table 3]
16 21      : type 0x21 : Issuer Fingerprint [12.2]
04 222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb
05 02 5e0be101 : type 02 : signature creation time
02 1b 03      : type 1b : key flags : 01 02
05 09 14B7C27F : type 09 : key expiration time
05 0b 09080702 : type 0b : symm algo preferences : 09 08 07 02
05 15 0a09080b : type 15 : hash algo preferences : 0a 09 08 0b
04 16 020301   : type 16 : zip algo preferences : 02 03 01
38 1a         : type 1a : policy URI
687474703a2f2f777772e696e666f726d6174696b2e68752d6265726c696e2e
64652f7e67696573736d616e2f6770672d63702e747874
          : http://www.informatik.hu-berlin.de/~giessman/gpg-cp.txt
02 1e 01      : type 1e : key features : 0x01
02 17 80      : type 17 : key server preferences : 0x80
: unsigned attributes
000a : length of unsigned ("unhashed") sub packets in bytes
09 10 9f7a3119df9110eb : type 10 : Issuer Key ID ([5.2.3.5])
: signature data
bd10 : left two bytes of hash value
: signature value (r,s) as MPIs
0100 f00b772b95cfa877a76f25398c35eb8ecfba2fdfcc81de9bc230c2cb20b89c1a
0100 f73aa60a399a1da974832fff11854adb7c0c33b4e6b1041142110cd282e81de37
-----

```

4.1 Tag und Länge

Wir betrachten zunächst das Tag `0xc2=2#11000010` und das erste Längenbyte `0xc0`. Aus dem Tag mit neuem Längenformat ergibt sich der Paket-Typ 2 (Signature Packet). Das war einfach.

Jetzt das erste Längenbyte `len1=0xc0=192`. Da es größer als 191, aber kleiner als 224 ist, wird die Länge in zwei Bytes `len1` und `len2` kodiert. Damit kann man jetzt Paketlängen `len` von 192 (entspricht `0xc000`) bis 8383 (`0xdfff`) angeben.

Die Formel für die Berechnung der Paketlänge aus den beiden Längenbytes ergibt sich aus dem folgenden Beispiel¹⁵.

```

# packet length bytes are 0xc00e
n=c00e; dc -e "16i${n^^}d100/C0-100*r100%+C0+p"
206

```

Man läuft bei `dc` und auch `bc` leicht in eine Falle, da Hexadezimalzahlen in Großbuchstaben angegeben werden müssen. Die Berechnung der kodierten Bytes aus einer gegebenen Paketlänge ist dann entsprechend¹⁶:

¹⁵`n=C00E; echo "ibase=16; ($n/100-C0)*100+$n%100+C0" | bc`

¹⁶Ganz genau: `echo "ibase=16; if ((191<$n)&&($n<8384)) (192+($n-192)/256)*256+($n-192)%256" | bc`

```
# packet length is 206
n=206; dc -e "$n d_192+256/192+256*r_192+256%+16op"
C00E
```

Wäre das erste Längenbyte gleich $0xff=255$, dann würden auf das Tag-Byte nicht zwei, sondern vier weitere Bytes folgen, mit denen dann die Länge angegeben wird. Damit lassen sich Längen bis einschließlich $4\,294\,967\,295$ darstellen.

Wenn das erste Längenbyte schließlich aus dem noch verbleibenden Bereich von 224 ($0xe0$) bis 254 ($0xfe$) ist, dann handelt es sich um eine Längenangabe für Teildaten. Diesem Datenblock folgt dann immer ein weiterer Datenblock (mit entsprechender Längenangabe). Das Gesamtpaket aller Teildaten endet mit einem Datenblock, der keine Teildaten-Längenangabe hat.

Für Teildaten sind jedoch nur Pakete zulässig, bei denen die Anzahl der Inhaltsbytes eine Zweierpotenz von $2^0 = 1$ bis $2^{30} = 1\,073\,741\,824$ ist. Dies wird auch noch im Längenbyte kodiert.

Dies kann man leicht den beiden Umrechnungsformeln eines einzelnen Längenbytes¹⁷ n in eine dezimale Länge¹⁸ len entnehmen, die hier als Beispiel angegeben werden:

```
n=EA; dc -e "16i${n^^}[[error]sr]sad[2rE0%^]xsrd[E0>a]x[FE<a]xlrp"
1024
len=4096; dc -e "1G$len[16o224+pq]sA[r1+r2/d2%1>G]dsGx1=A[error]p"
EC
```

Teildatenblöcke können übrigens auch durch das Dateiende oder ein Paket der Länge Null, also ein Tag mit einem weiteren Null-Längenbyte ($0x00$), beendet werden.

Für eine Darstellung des Signatur-Pakets mit alten Längenformat kommt man mit nur einem Längenbyte $0xce$ (206) aus. Das entsprechende Tag-Byte dazu ist $0x88=2\#10001000$, die mittleren Bits 0010 definieren den Typ 2 . Man kann die Länge aber auch mit zwei Bytes, als $00\ ce$, darstellen. Dann müsste man jedoch das Tag-Byte $0x89=2\#10001001$ verwenden. Wir nutzen das später (Seite 32) bei der Darstellung im alten Längenformat aus.

4.2 Paket-Informationen

Der Informationsblock des Signatur-Pakets $04\ 13\ 13\ 08$ besteht wie immer erst aus der Versionsnummer $0x04$ und dann aus dem Signaturtyp $0x13=19$ (gründliche Prüfung der Bindung von User ID und Public Key), dem Signaturalgorithmus $0x13=19$ (EC-DSA) und dem verwendeten Hash-Algorithmus $0x08$ (SHA-256).

Für die Bindung von User ID und Public Key kann man die Signaturtypen $0x10$, $0x11$, $0x11$ und $0x13$ verwenden, die sich in der Stärke der Prüfung dieser Bindung unterscheiden

```
0x10 : generic certification
0x11 : no assertion on certification claim
0x12 : casual certification
0x13 : substantial certification
```

¹⁷`echo "ibase=16; n=EA; if ((DF<n) && (n<FF)) 2^(n%E0)" | bc`

¹⁸`echo "len=4096; i=0; while (len%2==0) {i+=1; len/=2}; if (len==1) {ibase=16; 224+i}" | bc`

Den Typ 0x13 erhält man automatisch, wenn man sich mit dem Standard-Kommando¹⁹

```
gpg --generate-key
```

einen Schlüssel erzeugt.

Interessant wäre mal die Untersuchung, ob man in OpenPGP beim Signieren einen ECDSA-Schlüssel auch mit einer stärkeren Hash-Funktion kombinieren kann. Nach dem RFC 4880 [3] wäre beispielsweise die Verwendung von SHA512 (ID 0x0a) oder nach dem Draft [1] auch schon von SHA3-512 (ID 0x0e) zulässig. Dann müsste allerdings der Hash-Wert auf die linken (*most significant*) 256 Bit reduziert werden.

4.3 Signierte Daten

Im Signatur Paket folgen nun wie in einer SignerInfo nach CMS [6] die signierten, die unsignierten und dann die Signaturdaten.

Sie sind als Unterpakete im LTV-Format²⁰ strukturiert. Es beginnt also immer mit dem oder den Längenbytes, die so wie im neuen Längenformat kodiert werden. Wir haben allerdings im Schlüssel keine größeren Unterpakete gefunden, sie kommen immer mit nur einem Längenbyte aus. Die Sortierung der hier vorhandenen zehn Unterpakete ist beliebig, es gibt keine DER (*Distinguished Encoding Rules*) entsprechenden Kodierungsvorschriften.

Nach dem oder den Längenbytes folgt in einem Unterpaket das entsprechende Typ-Byte (vgl. [1, Table 3] oder [3, 5.2.3.1]), mit dem die innere Struktur des Unterpakets festgelegt wird. Zusätzlich könnte man übrigens durch Setzen des zweiten Tag-Bits 0x40 ein Unterpaket als kritisch deklarieren, was ich eigentlich auch hier, etwa bei den key flags erwartet hätte. Dann müsste jede Implementierung dieses Unterpaket und damit die Signatur zurückweisen, wenn sie den Typ des Unterpakets nicht kennt.

Die signierten Daten beginnen mit einer (unkodierten) Längeninformation aus zwei Bytes über alle signierten Unterpakete. Da der Inhalt der meisten Unterpakete beschränkt ist, sollte man damit auch auskommen.

```
-----
: signed attributes
0076 : length of hashed sub packets in bytes [5.2.3.1]
    : each subpacket is LTV (length type value) [Table 3]
16 21          : type 0x21 : Issuer Fingerprint [12.2]
    04 222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb
05 02 5e0be101 : type 02 : signature creation time
02 1b 03       : type 1b : key flags : 01 02
05 09 14B7C27F : type 09 : key expiration time
05 0b 09080702 : type 0b : symm algo preferences : 09 08 07 02
05 15 0a09080b : type 15 : hash algo preferences : 0a 09 08 0b
04 16 020301   : type 16 : zip algo preferences : 02 03 01
38 1a         : type 1a : policy URI
    687474703a2f2f777772e696e666f726d6174696b2e68752d6265726c696e2e
```

¹⁹Damit erzeugt man aktuell (Version 2.2.4) einen RSA-Schlüssel mit 3072 Bit. Einen Dialog mit etwas mehr Auswahlmöglichkeiten bekommt man mit dem Kommando `gpg --full-generate-key`.

²⁰Das ist kein Schreibfehler, das Format ist wirklich *Length-Tag-Value*. Die Längenangabe schließt das Tag mit ein.

```
64652f7e67696573736d616e2f6770672d63702e747874
: http://www.informatik.hu-berlin.de/~giessman/gpg-cp.txt
02 1e 01      : type 1e : key features : 0x01
02 17 80      : type 17 : key server preferences : 0x80
-----
```

Wir gehen jetzt auf die einzelnen Unterpakete ein. Anregungen für weitere eigene Pakete findet man in [3, 5.2.3.1].

Issuer Fingerprint

```
-----
16 21          : type 0x21 : Issuer Fingerprint [12.2]
04 222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb
-----
```

Das ist das Äquivalent zum Herausgeber (*Issuer*) eines Zertifikats, oder besser zum *Authority Key Identifier* (AKI).

In der Version 4 des Fingerprints wird SHA-1 verwendet, so dass hier Schlüsselkollisionen nicht grundsätzlich ausgeschlossen sind. Dazu würde sich der Schlüsselinhaber zwei Schlüssel mit dem gleichen Hash-Wert konstruieren und könnte dann beispielsweise bei einer Signaturprüfung den einen durch den anderen ersetzen. So wären plötzlich Signaturen ungültig, wenn der falsche Prüf-schlüssel verwendet wird. Bei einem ECDSA-Schlüssel gibt das Problem der Schlüsselkollision jedoch nicht, da man nur einen Eingabeblock für die Kompressionsfunktion hat und man außerdem das Problem eines diskreten Logarithmus lösen müsste.

Vielleicht sollte man hier noch zusätzlich den Fingerprint in Version 5 angeben (vgl. [3, 12.2]).

```
-----
16 21          : type 0x21 : Issuer Fingerprint [12.2]
04 222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb
22 21          : type 0x21 : Issuer Fingerprint version 5
05 23b80ad55e7e41d7596d3963b678ccc0dc0b89cb580648a82fb5d10484d67fa6
-----
```

Ob bei OpenPGP aber zwei Fingerprints überhaupt zulässig sind, habe ich nicht getestet. Bei Zertifikaten ginge das nicht, denn es ist von jedem bestimmten Typ immer nur eine Zertifikatserweiterung erlaubt²¹.

Signaturerstellungzeit und Ende der Schlüsselverwendung

Die Signaturerstellungzeit entspricht dem Beginn (*notBefore*) des Gewährleistungszeitraums eines Zertifikats. Zeiten, die vor der Erstellung des Schlüssels (vgl. Seite 5) liegen, werden von GPG zu Recht zurückgewiesen. Das Ende der Schlüsselverwendung (*notAfter*) wird mit Hilfe eines Zeitraums angegeben.

```
-----
05 02 5e0be101 : type 02 : signature creation time
-----
```

²¹“A certificate MUST NOT include more than one instance of a particular extension” (vgl. [4, 4.2]). Allerdings könnte man den AKI zugleich als *IssuerSerial* und auch als *KeyIdentifier* angeben.

```
-----  
05 09 14b7c27f : type 09 : key expiration time  
-----
```

Hier haben wir mit

```
date -u '+%F %T %Z' --date "@$( ( 0x5e0be101 ) )"
```

als Erstellung eine Sekunde nach Silvester (2020-01-01 00:00:01 UTC), was nicht ganz glaubwürdig, aber zulässig ist, da der Schlüssel anscheinend genau um Mitternacht erzeugt wurde. Trotzdem sehen diese Zeiten sehr nach der gpg-Option `--faked-system-time` aus.

Der Ablauf der Schlüsselverwendung wird in Sekunden angegeben und ist dann

```
date -u '+%F %T %Z' --date "@$( ( 0x5e0be101 + 0x14b7c27f ) )"  
2031-01-06 00:00:00 UTC
```

am 6. Januar 2031.

Schlüsselparameter

Beim Typ `0x1b=27` (Key Flags) wird die Schlüsselverwendung (vgl. [3, 5.2.3.22]), so wie bei der Erweiterung `keyUsage` im X.509 [4], durch einzelne Bits beschrieben.

```
-----  
02 1b 03 : type 1b : key flags : 01 02  
-----
```

```
02 1e 01 : type 1e : key features : 01  
-----
```

Das achte Bit (`0x01`) im Byte `0x03` steht für Schlüsselsignatur (`certSign`), das siebte Bit (`0x02`) für Datensignatur (`nonRepudiation`). Soll der Schlüssel auch zur Authentisierung benutzbar sein, was in X.509 dem Bit für `digitalSignature` entsprechen würde, müsste das dritte Bit (`0x20`) gesetzt werden. Interessant ist auch das erste Bit (`0x80`), mit ihm kann signalisieren, dass der private Schlüssel im Besitz von mehreren Personen sein kann und folglich eher als Gruppenschlüssel anzusehen ist.

Weitere Bytes könnten folgen, insbesondere wird im aktuellen Draft [1] vorgeschlagen, dass das neunte Bit, also `0x80` in einem zweiten Byte, einen Zeitstempeldienst anzeigt.

Da sich OpenPGP weiterentwickelt, ist es sinnvoll, wenn eine Schlüsselinhaberin ihrem Gegenüber signalisiert, welche Optionen sie unterstützt. Wir kennen das bereits aus dem RFC 6664 [8] als *Public Key Capabilities*. Im RFC [3, 5.2.3.25] ist bisher nur das Bit (`0x01`) definiert, im Draft [1] sind aktuell schon weitere aufgeführt:

```
-----  
0x01 : packet 18 and 19 (Modification Detection)  
0x02 : packet 20 (AEAD Encrypted Data) and  
      version 5 encrypted session key packets (packet 3)  
0x04 : version 5 public key packet and corresponding  
      fingerprint format  
-----
```

Hier bedeutet das gesetzte Bit `0x01`, dass von anderen Nutzern die neuen Paket-Typen 18 und 19 des RFC 4888 [3] mit eingebautem Integritätsschutz benutzt werden können.

Unterstützte Algorithmen

Dies ist der Hinweis einer Schlüsselinhaberin auf die von ihr unterstützten Algorithmen (vgl. [3, 5.3.7ff]) und die Reihenfolge, in der sie verwendet werden sollten.

```
-----  
05 0b 09080702 : type 0b : symm algo preferences : 09 08 07 02  
05 15 0a09080b : type 15 : hash algo preferences : 0a 09 08 0b  
04 16 020301 : type 16 : zip algo preferences : 02 03 01  
-----
```

Wir sehen hier als symmetrische Algorithmen (vgl. [3, 9.3]) AES-256 (0x09), AES-192 (0x08), AES-128 (0x07) und 3DES (0x02) mit 168-Bit-Schlüssel.

Bei den Hash-Funktionen (vgl. [3, 9.5]) sind es die SHA2-Algorithmen: SHA-512 (0x0a), SHA-384 (0x09), SHA-256 (0x08) und SHA-224 (0x0b). SHA3-Funktionen, wie beispielsweise SHA3-256 (0x0c) und SHA3-512 (0x0e), sind im Draft 4880bis [1] zwar auch schon vorgesehen, aber im RFC [3] noch nicht definiert.

SHA-1 (0x02) findet sich nicht in der Liste, er wird aber nach dem RFC 4880 (vgl. [3, 13.3.2]) automatisch ergänzt und kann durch diese Auflistung daher auch nicht ausgeschlossen werden. Das wird aber wahrscheinlich zukünftig geändert (vgl. [1, 9.5]). Denn dann wird nicht mehr die Unterstützung von SHA-1, sondern die von SHA-256 verlangt und automatisch ergänzt. Damit wird dann durch die hier angegebene Liste der unterstützten Algorithmen auch SHA-1 ausgeschlossen.

Bei den Kompressionsfunktionen (vgl. [3, 9.4]) haben wir ZLIB (0x02), die Kompression nach RFC 1950 [9], Bzip2 (0x03) und ZIP (0x01), die von PGP ursprünglich genutzte Kompression mit deflate nach RFC 1951 [10]. Hier wird zusätzlich natürlich auch Uncompressed (0x00) unterstützt.

Signaturrichtlinie

Dieses Unterpaket (Typ 26 vgl. [3, 5.2.3.21]) ist das Äquivalent zum Link CPSuri des X.509 [4] auf die Zertifizierungsrichtlinie. Da es hier nur ein Link ist, muss sie selbst natürlich auch signiert²² sein.

```
-----  
38 1a : type 1a : policy URI  
687474703a2f2f7777772e696e666f726d6174696b2e68752d6265726c696e2e  
64652f7e67696573736d616e2f6770672d63702e747874  
 : http://www.informatik.hu-berlin.de/~giessman/gpg-cp.txt  
-----
```

Eigenschaften des Schlüsselservers

Bei dem Typ 23 (Key Server Preferences [3, 5.2.3.5]) ist bislang nur ein Bit, das erste (0x80) definiert.

```
-----  
02 17 80 : type 17 : key server preferences : 0x80  
-----
```

²²Die CRC24-Prüfsumme in ihrer Signatur ist übrigens auch EG+G (vgl. Abschnitt 8).

Ist es gesetzt, darf der Schlüsselservers keine weiteren Schlüsselbestätigungen aufnehmen und verteilen, es sei denn, dass die Schlüsselinhaberin sie selbst in ein Signaturpaket aufgenommen hat.

4.4 Unsignierte Daten

Die unsignierten Daten, im RFC [3] aber nur als „unhashed data“ bezeichnet, dienen ausschließlich der Information. Warum sich die Key ID noch hier befindet, wo sie doch durch den Fingerprint (vgl. Abschnitt 4.3) bereits festgelegt ist, entzieht sich meiner Kenntnis.

```
-----  
: unsigned attributes  
000a : length of unsigned ("unhashed") sub packets in bytes  
09 10 9f7a3119df9110eb : type 10 : Issuer Key ID ([5.2.3.5])  
-----
```

4.5 Signaturdaten

Die Signaturdaten enthalten zuerst die oberen zwei Byte des Hash-Wertes der zu signierenden Daten. Damit wäre eine einfache Plausibilitätsprüfung schon vor einer eigentlichen Signaturprüfung möglich. Diese beiden Bytes waren bei der Schlüsselanalyse sehr hilfreich, zeigten sie doch sofort, ob die zu signierenden Daten schon richtig zusammengestellt waren. Allerdings werden diese Bytes von GnuPG seit langem schon nicht mehr geprüft. Wir nutzen das im Abschnitt 8 aus.

```
-----  
: signature data  
bd10 : left two bytes of hash value  
: signature value (r,s) as MPIs  
0100 f00b772b95cfa877a76f25398c35eb8ecfba2fdfcc81de9bc230c2cb20b89c1a  
0100 f73aa60a399a1da974832ff11854adb7c0c33b4e6b1041142110cd282e81de37  
-----
```

Für die Signaturerstellung und dann auch jede Signaturprüfung werden die folgenden Daten gehasht. Man beachte jedoch dabei, dass, obwohl es auf den ersten Blick so aussieht, hier nicht alle Daten der entsprechenden Pakete des Schlüssels verwendet werden. Die Tags und Längenangaben dieser Pakete werden geändert.

```
-----BEGIN dtbs.bin to be signed-----  
99 0052 : tag 99 and two bytes length [5.2.4]  
: Note: this is not the Public-Key Packet header  
-----  
04 : version number  
5e0be100 : key created 2020-01-01 00:00:00Z (1577833200)  
13 : public key algorithm ECDSA (ID 19 [9.1])  
08 2a8648ce3d030107 : curve OID : nistp256  
0203 : public EC point als MPI (multi precision integer)  
04 : public point format byte  
d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aecc723a40891e05e2f91fc41be1bf9823a96d  
44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226ee4a6af4fa30b
```

```

-----CONTINUED-----
b4 00000035 : tag b4 and four bytes length
           : Note: this is not the User ID packet header
-----
45726e737420472047696573736d616e6e203c67696573736d616e6e40696e66
6f726d6174696b2e68752d6265726c696e2e64653e
           : "Ernst G Giessmann <giessmann@informatik.hu-berlin.de>"
-----CONTINUED-----
=c2 c00e : signature packet : do not include this header
-----
: packet information
04      : version : 4
13      : signature type : 19
13      : signature algorithm : 19 : ECDSA
08      : hash algorithm 08 : sha256
: signed attributes
0076 : length of hashed sub packets in bytes [5.2.3.1]
     : each subpacket is LTV (length type value) [Table 3]
16 21      : type 0x21 : Issuer Fingerprint [12.2]
     04 222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb
05 02 5e0be101 : type 02 : signature creation time
02 1b 03      : type 1b : key flags : 01 02
05 09 14B7C27F : type 09 : key expiration time
05 0b 09080702 : type 0b : symm algo preferences : 09 08 07 02
05 15 0a09080b : type 15 : hash algo preferences : 0a 09 08 0b
04 16 020301   : type 16 : zip algo preferences : 02 03 01
38 1a      : type 1a : policy URI
     687474703a2f2f7777772e696e666f726d6174696b2e68752d6265726c696e2e
     64652f7e67696573736d616e2f6770672d63702e747874
           : http://www.informatik.hu-berlin.de/~giessman/gpg-cp.txt
02 1e 01      : type 1e : key features : 0x01
02 17 80      : type 17 : key server preferences : 0x80
=000a : unhashed sub packets : do not include these sub-packets
= 09 10 9f7a3119df9110eb : keyID
-----CONTINUED-----
04ff 0000007C : version 4 signature with a final trailer:
           : 04 ff followed by four bytes big endian length of
           : the sum of length of the hashed sub packets (0x76)
           : + 4 : length of sig packet header (04131308)
           : + 2 : length of len octets 0076 itself
           : stopping right before the 0x04ff octets [5.2.4]
-----END dtbs.bin to be signed-----

```

Das Schlüsselpaket und das Paket mit der User ID bekommen für die Signaturerstellung standardisierte Tag- und Längenbytes. Sie sind deshalb unabhängig vom verwendeten Paket-Format. Die Inhalte werden unverändert übernommen. Das geänderte Schlüsselpaket bleibt dabei sogar als OpenPGP-Paket noch korrekt, das Format des geänderten „Pakets“ mit der User ID ist dagegen nicht mehr OpenPGP-konform.

Vom Signaturpaket wird der Header nicht verwendet, was auch sinnvoll ist, da ja die Längenangaben auch die Signaturdaten einschließen, die aber zum Zeitpunkt der Signaturerstellung noch gar nicht vorhanden sind.

Die Länge der mitsignierten Daten aus dem Signaturpaket wird jedoch durch zusätzliche Bytes am Ende der signierten Daten geschützt. Dieser Anhang besteht in Version 4 aus dem Versions-Byte 0x04, dem Byte 0xff und einer Längenangabe (vier Bytes) der signierten Daten aus dem Signaturpaket, beginnend mit der Versionsangabe 04 im Header und endend vor den beiden ersten Trailer-Bytes 04 ff.

Mit dem Kommando

```
rehex > dtbs.bin; openssl sha256 -binary dtbs.bin | xxd -p -c32
bd10735c8a4650451fc2dfac0c7ecd2d58a71e59bd642887b40fdf1f24a1aa40
```

erzeugen wir uns die zu signierenden Daten `dtbs.bin` und lassen uns den Hash-Wert dafür anzeigen. Wenn bis jetzt alles richtig ist, sind beiden oberen Bytes des Hash-Werts `bd10`, die wir bereits im Signatur-Paket gesehen haben.

4.6 Signaturprüfung

OpenPGP hat keine direkte Option für die Signaturprüfung einer Schlüsseldatei. Es geht aber indirekt, denn nur korrekte signierte Schlüsseldaten kann man importieren.

Für eine unabhängige Signaturprüfung benötigt man den öffentlichen Schlüssel aus dem Schlüsselpaket. Dafür nutzen wir eine Konfigurationsdatei `ec_pub.conf` von OpenSSL.

```
#-----BEGIN ec_pub.conf-----
asn1=SEQUENCE:ECC_PubKeyInfo
# pubkeyinfo contains an algorithm identifier and the public key wrapped
# in a BIT STRING [SECG1, C.3]
[ECC_PubKeyInfo]
algorithm=SEQUENCE:ecc_algorithm
pubkey=FORMAT:HEX,BITSTRING:04\
d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aecc723a40891e05e2f91fc41be1bf9823a96d\
44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226ee4a6af4fa30b
# algorithm identifier is one OID for ECC and one for a curve
[ecc_algorithm]
algorithm=OID:id-ecPublicKey
parameter=OID:prime256v1
#-----END ec_pub.conf-----
```

In diese Datei tragen wir die Bytefolge des öffentlichen Schlüssel einschließlich des Formatierungs-Bytes 0x04 ein. Die beiden Backslashes `\` in den Schlüsseldaten sind hier notwendig. Mit dem OpenSSL-Kommando²³

```
openssl asn1parse -genconf ec_pub.conf -out ec.pub
```

erzeugen wir uns den öffentlichen OpenSSL-Schlüssel, dessen Binärdaten man auch base64-kodiert (PEM-Format) darstellen kann:

²³Das `openssl`-Kommando `asn1parse` ist etwas geschwätzig. Deshalb ignorieren wir zukünftig die Ausgaben des Kommandos mit `&>/dev/null`.

```

openssl ec -pubin -inform der -in ec.pub -outform pem 2>/dev/null
-----BEGIN PUBLIC KEY-----
MFkwEwYHKoZIzjOCAQYIKoZIzjODAQCDAQAEOPGkOfLdZspbiNQD9q7McyjAiR4F
4vkvxBvhv5gjQW1E+Wd6IZ7PJIt/BOKC64qA2/iCubmXp8gibuSmr0+jCw==
-----END PUBLIC KEY-----

```

Um die Signaturdaten aus dem Signatur-Paket zu prüfen, müssen wir auch sie noch in das Format von X.509 übertragen. Dazu können wir mit *sig.conf* wieder eine Konfigurationsdatei verwenden.

```

#-----BEGIN sig.conf-----
asn1=SEQUENCE:ECDSA_Signature
# signature is a pair (r,s) of integers
[ECDSA_Signature]
r=INT:0xf00b772b95cfa877a76f25398c35eb8ecfba2fdfcc81de9bc230c2cb20b89c1a
s=INT:0xf73aa60a399a1da974832ff11854adb7c0c33b4e6b1041142110cd282e81de37
#-----END sig.conf-----

```

Beide Signaturwerte werden im Signatur-Paket als ganze Zahlen (MPI) angegeben, also jeweils mit zwei vorangehenden Längenbytes, die die jeweilige Bit-Länge der Zahlen angeben. Da sie hier beide volle Bitlänge haben, finden wir dort entsprechend 0x0100 (256). In der Konfigurationsdatei benötigen wir diese Angaben aber nicht.

Nachdem wir die Signaturdatei *sig* aus der Konfigurationsdatei *sig.conf* erzeugt haben, können wir nun auch die Signatur prüfen

```

openssl asn1parse -genconf sig.conf -out sig &>/dev/null
openssl dgst -sha256 -binary -verify ec.pub -keyform der -signature sig dtbs.bin
Verified OK

```

Damit ist dieses Signaturpaket vollständig beschrieben.

5 Secret Key Packet

Den ersten Teil des Schlüssels, also das Schlüsselpaket²⁴ c6 52 ... (Abschnitt 2), das Paket²⁵ mit der User ID cd 35 ... (Abschnitt 3) und das Signaturpaket²⁶ c2 c00e ... (Abschnitt 4) kann man zusammen schon als indirekte Signaturprüfung in den Schlüsselring von GPG importieren.

```

head -c348 key.bin | gpg --import
gpg: key 9F7A3119DF9110EB: public key imported
gpg: Total number processed: 1
gpg: imported: 1

```

Da wir die Signatur aber schon geprüft haben, löschen wir ihn wieder.

```
gpg --delete-key 9F7A3119DF9110EB
```

²⁴`xxd -p -s 0 -l 84 key.bin`

²⁵`xxd -p -s 84 -l 55 key.bin`

²⁶`xxd -p -s139 -l209 key.bin`


```

openssl asn1parse -genconf ec_sec.conf -out ec.sec &> /dev/null
openssl ec -check -text -in ec.sec -inform der -noout
  read EC key
  Private-Key: (256 bit)
  priv:
    ef:ff:ff:ff:ff:ff:ff:be:fb:ef:a1:89:d7:5e:9f:
    eb:1e:72:b7:ad:fa:47:b2:fb:ef:be:fb:ff:ff:ff:
    ff:ff
  pub:
    04:b5:16:24:00:fe:ba:b5:d9:4a:73:2c:d6:fe:e7:
    b9:4e:c3:cf:0a:ac:ff:d4:56:46:34:8f:7f:5f:bb:
    f6:ae:9e:03:16:8c:cd:36:a8:ba:6a:83:9d:4d:0a:
    e9:17:36:b5:31:3c:65:0b:08:4e:c6:38:a1:1b:5e:
    0f:68:2e:f9:82
  ASN1 OID: prime256v1
  NIST CURVE: P-256
  EC Key valid.

```

haben wir dann einen Signaturschlüssel zur Verfügung, mit dem man beliebige Daten, also auch die des Signaturpakets *dtbs.bin*, signieren kann:

```

openssl dgst -binary -sign ec.sec -keyform der -sha256 dtbs.bin > sig
openssl asn1parse -inform der -in sig
  0:d=0 hl=2 l= 69 cons: SEQUENCE
  2:d=1 hl=2 l= 33 prim: INTEGER
    :B5162400FEBAB5D94A732CD6FEE7B94EC3CFOAACFFD45646348F7F5FBBF6AE9E
  37:d=1 hl=2 l= 32 prim: INTEGER
    :03168CCD36A8BA6A839D4D0AE91736B5313C650B084EC638A11B5E0F682EF982

```

Daraus erstellen wir jetzt den geheimen OpenPGP-Schlüssel. Er besteht wie der öffentliche aus drei Paketen, dem Schlüsselpaket, dem Paket mit der User ID und dem Signatur-Paket. Die letzteren beiden unterscheiden sich nicht von denen des öffentlichen Schlüssels. Nur das erste Paket mit dem geheimen Schlüssel hat eine etwas erweiterte Struktur (vgl. [1, 5.5.3]):

```

-----
c5 77 : secret key packet [5.5.3]
-----
      : packet tag 1100 0101
      : bit 1 and 2 set (new length format)
      : bit 3-8 : tag 5 (Secret Key Packet [4.3])
      : packet length 0x77=119 : one octet : len < 192
04    : version
5e0be100 : key creation date
13    : ECDSA
08 2a8648ce3d030107 : OID : nistp256
0203   : MPI : public point
  04
    b5162400febab5d94a732cd6fee7b94ec3cf0aacffd45646348f7f5fbbf6ae9e
    03168ccd36a8ba6a839d4d0ae91736b5313c650b084ec638a11b5e0f682ef982
00 : string-to-key indicator "00"=not encrypted

```

```

: secret key as MPI [5.6.4] : mind the upper case for dc
: d=$( tr -d '% :\n' <<< "
0100 effffffffffffbfefbfa189d75e9feb1e72b7adfa47b2fbefbfefbffffffffff
: " ); dc -e "16ddoi2^sm${d^}[lm~lr+srd0<G]dsGxlr1m2^%[0n]sndI3^>ndlm>ndI>np"
196a : check sum s of secret key data : sum of all bytes mod 2^16 ([5.5.3])
-----

```

Das Tag im neuen Paket-Format ist 0xc5=2#11000101, woraus sich der Typ 5 (Secret Key Packet [1, 4.3]) ergibt. Bei der Länge 0x77=119 kommt man auch wieder mit einem Längenbyte aus.

Danach folgen zuerst die 0x52=82 Bytes des Public Key Packets, danach ein Byte, das den Verschlüsselungstyp angibt und gegebenenfalls noch weitere Parameter des dabei verwendeten kryptographischen Verfahrens. Das kann man sich alles ersparen, wenn man die Schlüsseldaten nicht verschlüsselt (0x00).

Bei EC-DSA wird der geheime Schlüssel als ganze Zahl (MPI) nach zwei Längenbytes für die Bitlänge angegeben. Die letzten beiden Bytes (0x196a) bilden schließlich einen einfachen Prüfwert²⁸, die Summe modulo 2¹⁶ über alle Klartext-Bytes des geheimen Schlüssels. Man erhält ihn mit Hilfe der obigen Kommentarzeilen als Ausgabe von

```

d=$( tr -d '% :\n' <<< "
0100 effffffffffffbfefbfa189d75e9feb1e72b7adfa47b2fbefbfefbffffffffff
: " ); dc -e "16ddoi2^sm${d^}[lm~lr+srd0<G]dsGxlr1m2^%[0n]sndI3^>ndlm>ndI>np"
196A

```

Kombiniert man die drei Pakete, das Schlüsselpaket c5 77 ... mit dem Paket der User ID cd 35 ... und dem Signaturpaket c2 c00e ... in eine Datei *xx.bin*,

```

rehex > xx.bin
tail -c +85 key.bin | head -c 55 >> xx.bin
tail -c+140 key.bin | head -c209 >> xx.bin
gpg --list-packets xx.bin

```

so erhält man einen geheimen OpenPGP-Schlüssel. Der Import dieses Schlüssels schlägt natürlich fehl, weil das Signaturpaket mit der Issuer Key ID 9F7A3119DF9110EB nicht zu unserem „informativen“ Schlüssel mit der Key ID 26E06177FD22A189 passt.

Aber auch mit dem Schlüsselpaket

```

-----
c5 77 : secret key packet [5.5.3]
-----
: packet tag 1100 0101
: bit 1 and 2 set (new length format)
: bit 3-8 : tag 5 (Secret Key Packet [4.3])
: packet length 0x77=119 : one octet : len < 192
04 : version
5e0be100 : key creation date
13 : ECDSA
08 2a8648ce3d030107 : OID : nistp256
0203 : MPI : public point

```

²⁸echo "obase=16; ibase=16; d=\${d^}; s=0; while (d>0) {s+=d%100; d/=100}; s%=10000; s" | bc

```

04
d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aecc723a40891e05e2f91fc41be1bf9823a96d
44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226ee4a6af4fa30b
00      : string-to-key indicator "00"=not encrypted
        : secret key as MPI [5.6.4]
0100 EFFFFFFFFFFFFFFFFBEFBEFA189D75E9FEB1E72B7ADFA47B2FBEBEFBFFFFFFFFFFFF
196A    : check sum s of secret key data : sum mod 65536 ([5.5.3])
-----

```

bei dem wir den korrekten öffentlichen Schlüssel eingetragen haben, lässt sich GPG nicht überlisten und verweigert sich mit einer etwas krausen Fehlermeldung

```

gpg --import xx.bin
gpg: key 9F7A3119DF9110EB: public key "Ernst G Giessmann <giessmann@informatik.hu-berlin.de>" imported
gpg: key 9F7A3119DF9110EB/9F7A3119DF9110EB: error sending to agent: Inappropriate ioctl for device
gpg: Total number processed: 1
gpg: imported: 1
gpg: secret keys read: 1

```

Mal abgesehen von den eigentlichen Schlüsseldaten würde der (unverschlüsselte!) geheime Schlüssel etwa so aussehen:

```

base64 -w64 xx.bin
xXcEXgvhABMIkoZIzjODAQCcAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxyOkCJHgXi+R/EG+G/
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLrionDb+IK5uZenyCJu5KavT6MLAAEA7////////++++
+hidden+secret+key++++/////////8Zas01RXJuc3QgRyBHawVzc21hbm4gPGdp
ZXNzbWFubkBpbmZvcmlhdGlrLmh1LWJlcmxpbj5kZT7CwA4EExMIAHYWIQQiLmfq
KqJTqWdAir6fejEZ35EQ6wUCXgvhAQIbAwUJFLfCfwULCQgHAgUVCgkICwQWAgMB
OBpodHRwOi8vd3d3LmluZm9ybWFOaWsuawHUtYmVyYGlzLmR1L35naWVzc21hbi9n
cGctY3AudHh0Ah4BAheAAAoJEJ96MRnfkRDrvRABAPALdyuVz6h3p2810Yw1647P
ui/fzIHem8IwwssguJwaAQD30qYK0ZodqXSDL/EYVK23wMM7TmsQQRQhEM0oLoHe
Nw==

```

Nur sollte man eine private Schlüsseldatei nie²⁹ in dieser Form speichern, weil die Schlüsseldaten darin ungeschützt sind.

In mit einer Passphrase gesicherter Form stellt sich ein Schlüsselpaket dagegen so dar:

```

-----
c5 a5
-----
04      : version number
5e0be100 : key created 2020-01-01 00:00:00Z
13      : public key algorithm ECDSA
08 2a8648ce3d030107 : curve OID : nistp256
0203    : public EC point as MPI (multi precision integer)
04      : public point format byte
D0F1A4D1F2DD66CA5B88D403F6AECC723A40891E05E2F91FC41BE1BF9823A96D

```

²⁹nie!

```

44F9677A219ECF248B7F074282EB8A80DBF882B9B997A7C8226EE4A6AF4FA30B
----- encrypted secret key data follows
fe  : string-to-key identifier given
07  : encryption algorithm : AES-128
03  : iterated and salted S2K [3.7.1.3]
02  : hash algo : SHA-1
be02e2693cf457f4 : 8-octet salt value
e8  : encoded count : 25165824
      : c=e8; dc -e "16i${c^}d10%10+r2r10/6+^*p"
c411fa2bfe5f7d951af3e3da04a8a913 : IV
      : encoded MPI including bit length prefix
4716 30b6e1c36d2d45fe7a772875e77eb1e72b7adfa47b2fb1502d8fb07917b52d9d
      : encoded hash value (SHA-1)
34177eb216b5fa16ac87ed3ad222d19dc0ee5b01
-----

```

Statt der einfachen Prüfsumme modulo 2^{16} wird hier der SHA1-Hashwert der geheimen Schlüsseldaten mit verschlüsselt. Zusammen mit der User ID und dem Signaturpaket ergibt sich dann folgender geschützter geheimer OpenPGP-Schlüssel

```

xaUEXgvhABMIkoZiZjODAQCcAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxyOkCJHgXi+R/EG+G/
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLrioDb+IK5uZenyCJu5KavT6ML/gcDar4C4mk89Ff0
6MQR+iv+X32VGvPj2gSoQRNHFjC24cNtLUX+encoded+secret+key+xUC2PshkX
tS2dNBd+sha1+hash+060iLRncDuWwHNNUVybnNOIEcgr211c3NtYW5uIDxnaWVz
c21hbm5AaW5mb3JtYXRpay5odS1iZXJsaW4uZGU+wsA0BBMTCAB2FiEEIi5n6iqi
U6lnQIq+n3oxGd+RE0sFA14L4QECGwMFCRS3wn8FCwkIBwIFFQoJCAsEFgIDATga
aHR0cDovL3d3dy5pbmZvcmlhdGlrLmhl1LWJlcmxpbi5kZS9+Z211c3NtYW4vZ3Bn
LWNwLnR4dAIeAQIXgAAKCRcfEjEZ35EQ670QAQDwC3crlc+od6dvJTMmNeu0z7ov
38yB3pvCMMLLILicGgEA9zqmCjmaHalOgy/xGFStt8DD005rEEEUIRDnKC6B3jc=

```

Da der private Schlüssel nach der Entschlüsselung nicht zum hier gewählten verschlüsselten Hash-Wert passt, kann man damit wegen der korrekten Signatur im Signaturpaket zwar wieder den korrekten öffentlichen Schlüssel, aber natürlich nicht den privaten Schlüssel importieren.

Die Paket-Struktur dieser Schlüsseldatei ist jedoch formal in Ordnung³⁰ und wird hier noch einmal zum Vergleich angegeben:

```

base64 -d | gpg --list-packets
# off=0 ctb=c5 tag=5 hlen=2 plen=165 new-ctb
:secret key packet:
  version 4, algo 19, created 1577836800, expires 0
  pkey[0]: [72 bits] nistp256 (1.2.840.10045.3.1.7)
  pkey[1]: [515 bits]
  iter+salt S2K, algo: 7, SHA1 protection, hash: 2, salt: BE02E2693CF457F4
  protect count: 25165824 (232)
  protect IV:  c4 11 fa 2b fe 5f 7d 95 1a f3 e3 da 04 a8 a9 13
  skey[2]: [v4 protected]
  keyid: 9F7A3119DF9110EB

```

³⁰Salt-Wert und Initialisierungsvektor kann man selbstverständlich auch nicht voraussagen. Sie werden bei jeden Export neu erzeugt.

```
# off=167 ctb=cd tag=13 hlen=2 plen=53 new-ctb
:user ID packet: "Ernst G Giessmann <giessmann@informatik.hu-berlin.de>"
# off=222 ctb=c2 tag=2 hlen=3 plen=206 new-ctb
:signature packet: algo 19, keyid 9F7A3119DF9110EB
    version 4, created 1577836801, md5len 0, sigclass 0x13
    digest algo 8, begin of digest bd 10
    hashed subpkt 33 len 21
        (issuer fpr v4 222E67EA2AA253A967408ABE9F7A3119DF9110EB)
    hashed subpkt 2 len 4 (sig created 2020-01-01)
    hashed subpkt 27 len 1 (key flags: 03)
    hashed subpkt 9 len 4 (key expires after 11y7d23h59m)
    hashed subpkt 11 len 4 (pref-sym-algos: 9 8 7 2)
    hashed subpkt 21 len 4 (pref-hash-algos: 10 9 8 11)
    hashed subpkt 22 len 3 (pref-zip-algos: 2 3 1)
    hashed subpkt 26 len 55
        (policy: http://www.informatik.hu-berlin.de/~giessman/gpg-cp.txt)
    hashed subpkt 30 len 1 (features: 01)
    hashed subpkt 23 len 1 (keyserver preferences: 80)
    subpkt 16 len 8 (issuer key ID 9F7A3119DF9110EB)
    data: [256 bits]
    data: [256 bits]
```

6 Subkey Packet

Tag- und Längenbytes des nächsten Pakets³¹ sind 0xce und 0xc0c5. Es handelt sich also wegen der Bitdarstellung 1100 1110 um ein Paket im neuen Format mit dem Typ 14 (Public-Subkey Packet [1, 4.3]) für einen öffentlichen Unterschlüssel. Die Länge 0x0185 (389) ist durch zwei Bytes kodiert

```
n=c0c5; dc -e "16i${n^^}d100/C0-100*r100%+C0+p[0x]nIo[0n]sndI3^>np"
389
0x0185
```

und mit Berücksichtigung der drei Header-Bytes erhalten wir durch `xxd -p -s348 -1392 key.bin` das nächste Paket.

```
-----
ce c0c5      : subkey packet
-----
04          : version
             : packet tag 1100 1110
5e134b70    : created 2020-01-06 15:00:00 UTC
             : date '+%F %T' --date "@$( ( 0x5e134b70 ) )"
```

01 : public key algorithm RSA (ID 01)

0bc0 : modulus as MPI

```
c61a4c85b2b6fbff80ecbc60d6058ab35d19e5c06ea41ee5fcfff12b9ecb46f8689eb2c99a
9e7fff75be56d629cbf3b77223840cb4e8b1ef2d29066707c7e2b2b714052fb39ab3bcfd31
186964a4d99c3b748c7b6ff5ad86bff67eb734f4fda638a684eea3654742a8d72ddf28f84c
```

³¹`xxd -p -s348 -13 key.bin`

```

43812de8464027395a707c7e2b231186964a4d99f3f43b748c7b6ff5ad86bff67eb734f4fd
a638a684eea3654742a8d72ddf28f84c43812de8464027395a437224ced7774a5a708f6352
04deca3f7125a46333bff6dc6296bd83c3eaca419b4e6fa01c471884096ebffb40cc485a84
247d3ea046910523a20e32de7d30792c6c0f990d5246f3146d013fffa1e67d1a4264fb0976
5dfffb9beb9deed27b8f9228d12dfdaad73476650f92fc338ccceddf8d8a17791ce50486aba
ab1429ad8ed2e3d626f6912eb7ee7b8b1f4bcc31661176d90d123af7ce127b219f81f6239a
a1d69579ee1b64da9a0f06fbecb8198831d7d9159ddd5ab4c4f1398b05407685c8be082cce
f0519b573bb9
0017          : exponent as MPI
400001
-----

```

Es handelt sich um einen RSA-Schlüssel und mit dem Kommando³²

```

rehex | gpg --list-packets
# off=0 ctb=ce tag=14 hlen=3 plen=389 new-ctb
:public sub key packet:
  version 4, algo 1, created 1578322800, expires 0
  pkey[0]: [3008 bits]
  pkey[1]: [23 bits]
  keyid: 703E8DB88FBBFOA3

```

erfahren wir die Schlüssellänge des Moduls (3008 Bit) und des Exponenten (23 Bit), sowie die Key ID, obwohl man die letztere natürlich auch wie im Abschnitt 2 mit dem Kommando

```
rehex | openssl sha1 -binary | xxd -p -c32 | sed 's/.\{24\}/\/'
```

aus dem folgenden Datenblock selbst berechnen könnte (0x703e8db88fbbf0a3)³³.

```

-----
99 0185  : data to be hashed for fingerprint and Key ID
-----
04          : version
5e134b70    : created 2020-01-06 15:00:00 UTC
01          : public key algorithm RSA (ID 01)
0bc0
c61a4c85b2b6fbff80ecbc60d6058ab35d19e5c06ea41ee5fcfff12b9ecb46f8689eb2c99a
9e7fff75be56d629cbf3b77223840cb4e8b1ef2d29066707c7e2b2b714052fb39ab3bcfd31
186964a4d99c3b748c7b6ff5ad86bff67eb734f4fda638a684eea3654742a8d72ddf28f84c
43812de8464027395a707c7e2b231186964a4d99f3f43b748c7b6ff5ad86bff67eb734f4fd
a638a684eea3654742a8d72ddf28f84c43812de8464027395a437224ced7774a5a708f6352
04deca3f7125a46333bff6dc6296bd83c3eaca419b4e6fa01c471884096ebffb40cc485a84
247d3ea046910523a20e32de7d30792c6c0f990d5246f3146d013fffa1e67d1a4264fb0976
5dfffb9beb9deed27b8f9228d12dfdaad73476650f92fc338ccceddf8d8a17791ce50486aba
ab1429ad8ed2e3d626f6912eb7ee7b8b1f4bcc31661176d90d123af7ce127b219f81f6239a
a1d69579ee1b64da9a0f06fbecb8198831d7d9159ddd5ab4c4f1398b05407685c8be082cce
f0519b573bb9
0017
400001
-----

```

³²oder `tail -c+349 key.bin | head -c392 | gpg --list-packets`

³³Mit dem Austausch des Tag-Bytes allein ist es nicht getan, auch die Längenbytes müssen geändert werden.

Interessant ist hier vielleicht auch noch der Exponent, der keine Primzahl ist³⁴:

```
dc -e "16i400001[lfp/dlf%0=Fdvsvr]sF[dsf]sJdvsvr2sf[dlf%0=Flfdd2%+1+sflr<Jd1<M]dsMx"
5
397
2113
dc -e "5 397 2113 **16op"
400001
```

Aber auch dieser unscheinbare Modul birgt das charakteristische Geheimnis, das wir schon vom PGP-Schlüssel von 2001 kennen und das dem Schlüssel eine gewisse Authentizität verleiht³⁵:

```
rehex | base64
C8DGGkyFsrB7/4DsvGDWBYqzXRnlwG6kHuX8//ErnstG+Giessmann//db5W1inL87dyI4QMtOix
7yOpBmcHx+KytXQFL70as7z9MRhpZKTZnDt0jHtv9a2Gv/Z+tzT0/aY4poTuo2VHQqjXLd8o+ExD
gS3oRkAnOVpWfH4rIxGGlKpNmFP003SMe2/1rYa/9n63NPT9pjimh06jZUDCqNct3yj4TE0BLEhG
QCc5WkNyJM7XdOpacI9jUgTeyj9xJaRjM7/23GKWvYPD6spBm05voBxHGIQJbr/7QMxIWoQkfT6g
RpEFI6IOMt59MHksbA+ZDVJG8xRtAT//oeZ9GkJk+w12Xf+5vrne7Se4+SKNEt/arXNHZ1D5L8M4
zM7d+Nihd5HOUEhquqsUKa200uPWJvaRLrfue4sfS8wxZhF22QOS0vf0Enshn4H2I5qh1pV57htk
2poPBvvsuBmIMdfZFZ3dWrTE8TmLBUB2hci+CCz08FGbVzu5
```

In der base64-Kodierung taucht der Name als Zeichenkette auf, was darauf hindeutet, dass zumindest bei einem Primfaktor 114 Bit nicht ganz zufällig gewählt wurden. Es damit zwar ein 3008-Bit-Schlüssel, aber nur mit der Entropie eines 2894-Bit-Schlüssels. Wenn jedoch die verbleibenden Bits zufällig gewählt wurden, erfüllt er damit für die nächsten Jahre hohe Sicherheitsanforderungen und ist deutlich besser als der 1984-Bit Schlüssel von 2001.

7 Subkey Signature Packet

Das letzte Paket ist wieder ein Signaturpaket³⁶ mit dem Tag 0xc2 (Typ 2 Signature Packet) und der Länge 0x78 (120). Damit wird der Unterschlüssel an den Hauptschlüssel gebunden. Das Paket mit der User ID bleibt hierbei unberücksichtigt.

Mit dem Kommando `xxd -p -s740 -l 122 key.bin` erhalten wir die folgende Darstellung

```
-----
c2 78      : sub key signature packet
-----
04         : version 4
18         : signature type 18 : Subkey Binding Signature [5.2.1]
13         : signature algorithm 19 : ECDSA
08         : hash algorithm 08 : sha256
0020      : length of signed ("hashed") sub packets in bytes
16 21     : type 0x21 : Issuer Fingerprint
   04 222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb
05 02     : type 0x02 : signature creation time : 2020-01-06 15:00:01 UTC
5e134b71  : date -u +%F %T %Z' --date "@$( ( 0x5e134b71 ) )"
```

³⁴Es gibt für die Primfaktorzerlegung schnellere Implementierungen in dc, aber die passen nicht auf eine Zeile.

³⁵Die Eingabe ist hier der oben angegebene Modul einschließlich seiner Längenbytes (0bc0 c61a4c...573bb9).

³⁶`xxd -p -s740 -l2 key.bin`

```

02 1b 0c : type 0x1b : key flags :
          : bits set: 0x04=encrypt communications
          :           0x08=encrypt storage
000a     : length of unsigned sub packets in bytes
09 10    : type 0x10 : Issuer aka 8-octet Key ID
          9f7a3119df9110eb
: signature data
5ca3    : left two bytes of hash value
: signature value (r,s) as MPIs
00fe 39d313bbcd5ae893b18cbe4ef0917437eb8cde41c5a9a07d99358ea4e4bc1470
0100 c0ad2879fafcd9ee4d02a8b901731f2930fa1cd8cf65052bcb656c9178ba943a
-----

```

Hier gibt es keine unbekanntes Unterpakete mehr. Bei der Schlüsselverwendung sind hier die Bits für die Kommunikations- und Datenverschlüsselung gesetzt.

So können wir uns gleich der Signaturprüfung widmen. Wie schon im Abschnitt 4 gehen die folgenden Daten in die Signaturberechnung ein:

```

-----BEGIN dtbs.bin to be signed-----
99 0052 : tag 99 and two bytes packet length : do not use the Public Key header
-----

```

```

04      : version
5e0be100 : key creation date
13      : ECDSA
08 2a8648ce3d030107 : NIST curve P-256
0203    : public key data as MPI
04
d0f1a4d1f2dd66ca5b88d403f6aacc723a40891e05e2f91fc41be1bf9823a96d
44f9677a219ecf248b7f074282eb8a80dbf882b9b997a7c8226ee4a6af4fa30b
-----

```

```

-----CONTINUED-----
99 0185 : tag 99 and two byte packet length : do not use the subkey header
-----

```

```

04      : version
5e134b70 : created 2020-01-06 15:00:00 UTC
01      : RSA
0bc0    : modulus
c61a4c85b2b6fbff80ecbc60d6058ab35d19e5c06ea41ee5fcfff12b9ecb46f8689eb2c99a
9e7fff75be56d629cbf3b77223840cb4e8b1ef2d29066707c7e2b2b714052fb39ab3bcfd31
186964a4d99c3b748c7b6ff5ad86bff67eb734f4fda638a684eea3654742a8d72ddf28f84c
43812de8464027395a707c7e2b231186964a4d99f3f43b748c7b6ff5ad86bff67eb734f4fd
a638a684eea3654742a8d72ddf28f84c43812de8464027395a437224ced7774a5a708f6352
04deca3f7125a46333bff6dc6296bd83c3eaca419b4e6fa01c471884096ebffb40cc485a84
247d3ea046910523a20e32de7d30792c6c0f990d5246f3146d013fffa1e67d1a4264fb0976
5dfffb9beb9deed27b8f9228d12dfdaad73476650f92fc338ccceddf8d8a17791ce50486aba
ab1429ad8ed2e3d626f6912eb7ee7b8b1f4bcc31661176d90d123af7ce127b219f81f6239a
a1d69579ee1b64da9a0f06fbecb8198831d7d9159ddd5ab4c4f1398b05407685c8be082cce
f0519b573bb9
0017 : exponent
400001

```

-----CONTINUED-----

=c2 78 : sub key signature packet header : do not include this header

04 18 13 08 : version sigclass algo hash
0020 : length of signed sub packets in bytes [5.2.3.1]
16 21 : type 0x21 : Issuer Fingerprint [12.2]
04222e67ea2aa253a967408abe9f7a3119df9110eb
05 02 : type 0x02 : signature creation time
5e134b71
02 1b 0c : type 0x1b : key flags

=000a : unsigned sub packets : do not hash these sub-packets

= 09 10 : type 0x10 : Issuer aka 8-octet Key ID ([5.2.3.5])

= 9f7a3119df9110eb

-----CONTINUED-----

04ff 00000026 : version 4 signature with final trailer:
: 04 ff followed by four bytes big endian length of
: the sum of length of the hashed sub packets (0x20)
: + 4 : length of sig packet header (04131308)
: + 2 : length of len octets 0020
: stopping right before the 0x04ff octets [5.2.4]

-----END dtbs.bin to be signed-----

Davon berechnen wir den Hash-Wert

```
rehex > dtbs.bin; openssl sha256 -binary dtbs.bin | xxd -p -c32  
5ca3cb34e9f03661c4d3400f2ab34ed85cf6e3f89663a18bd8f3e1bb1a06d769
```

von denen die beiden oberen 5c a3 mit den Bytes im Signaturpaket übereinstimmen. Das bedeutet, dass wir auf dem richtigen Weg sind.

Das Weitere geht schnell. Zuerst erstellen wir uns nach bewährtem Vorbild für die Signaturdatei *sig* eine Konfigurationsdatei *sig.conf*.

```
#-----BEGIN sig.conf-----  
asn1=SEQUENCE:ECDSA_Signature  
# signature is pair (r,s) of integers  
[ECDSA_Signature]  
r=INT:0x39d313bbcd5ae893b18cbe4ef0917437eb8cde41c5a9a07d99358ea4e4bc1470  
s=INT:0xc0ad2879fafcd9ee4d02a8b901731f2930fa1cd8cf65052bcb656c9178ba943a  
#-----END sig.conf-----
```

Und dann sind es mit dieser Datei nur noch zwei Kommandos

```
openssl asn1parse -genconf sig.conf -out sig &>/dev/null  
openssl dgst -binary -verify ec.pub -keyform der -sha256 -signature sig dtbs.bin  
Verified OK
```

Mit „informativen“ Parametern können wir nun auch noch eine Vorlage für den kompletten (unverschlüsselten) privaten Schlüssel nachliefern.

```
xXcEXgvhABMIkoZIZjODAQCcAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxyOkCJHgXi+R/EG+G/  
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLrioDb+IK5uZenyCJu5KavT6MLAAEA////////++++
```

```

+hidden+secret+key+++++////////8PJM01RXJuc3QgRyBHaWVzc21hbm4gPGdp
ZXNzbWVubkZvcm1hdGlrLmh1LWJlcmxpbj5kZT7CwA4EEExMIAHYWIQqiLmfq
KqJTqWdAir6fejEZ35EQ6wUCXgVhAQIbAwUJFLfCfwULCQgHAgUVCgkICwQWAgMB
OBpodHRwOi8vd3d3LmluZm9ybWFOaWsuUHUtYmVybGluLmRlL35naWVzc21hbi9n
cGctY3AudHh0Ah4BAheAAAoJEJ96MRnfkRDrvRABAPALdyuVz6h3p2810Yw1647P
ui/fzIHem8IwwssguJwaAQD30qYK0ZodqXSDL/EYVK23wMM7TmsQQRQhEM0oLoHe
N8fEfAReE0tWAQvAxhpMhbK2+/+A7Lxg1gWks10Z5cBupB7l/P/xK57LRvhonrLJ
mp5//3W+VtYpy/03ci0EDLTose8tKQZnB8fiscUBS+zmr08/TEYaWsk2Zw7dIx7
b/Wthr/2frc09P2m0KaE7qNlR0Ko1y3fKPhMQ4Et6EZAJzlacHx+KyMRhpZKTZnz
9Dt0jHtv9a2Gv/Z+tzT0/aY4poTuo2VHQjXLd8o+ExDgS3oRkAn0VpDciT013dK
WnCPY1IE3so/cSwkYz0/9txilr2Dw+rKQZt0b6AcRxiECW6/+ODMSFqEJH0+oEaR
BS0iDjLefTB5LGwPmQ1SRvMUBQE//6HmfrpCZPsJdl3/ub653uOnuPki jRlf2q1z
R2ZQ+S/DOMz03fjYoXerz1BIarqrFCmtjtLj1ib2kS637nuLHOvMMWYRdtkNEjr3
zhJ7IZ+B9i0aodaVee4bZNqaDwb77LgZiDhX2Rwd3Vq0xPE5iwVAdoXIVggszvBR
m1c7uQAXQAABAAu8D//////////
//////////
//////////
//////////
//////////+++++hidden+secret+key+++++//////////
//////////
//////////
//////////
//////////
//////////wXg//////////
//////////
//////////
//////////
//////////
//////////8F4P//////////
//////////
//////////
//////////
BeD//////////
//////////
//////////
//////////6UJ
wngEGBMIACAWIQQiLmfqKqJTqWdAir6fejEZ35EQ6wUCXhNLCqIbDAAKCRcfEjEZ
35EQ61yjAP450x07zVrok7GMvk7wkXQ364zeQcWpoH2ZNY6k5LwUcAEAwK0oefr8
2e5NAqi5AXMfKTD6HNjPZQUry2VskXi6lDo=

```

Neu ist hier nur das vierte (unverschlüsselte) Paket mit dem geheimen Unterschlüssel. Die Parameter des geheimen RSA-Schlüssels sind in dieser Reihenfolge: der geheime Exponent d (skey[2]), die Primzahl q (skey[3]), die Primzahl p (skey[4]), und die q -Inverse q_i (skey[4]). Sie müssen natürlich nicht die hier angegebenen „informativen“ Bitlängen haben.

```

base64 -d | tail -c386 | head -c1343 | gpg --list-packets
# off=0 ctb=c7 tag=7 hlen=3 plen=1340 new-ctb
:secret sub key packet:
  version 4, algo 1, created 1578322800, expires 0
  pkey[0]: [3008 bits]
  pkey[1]: [23 bits]

```

```
skey[2]: [3004 bits]
skey[3]: [1504 bits]
skey[4]: [1504 bits]
skey[5]: [1504 bits]
checksum: a509
keyid: 703E8DB88FBBFOA3
```

8 Die Prüfsumme am Ende

Nun haben wir den öffentlichen Schlüssel bis ins Kleinste analysiert und damit auch gezeigt, wie man sich den eigenen Schlüssel mit selbst gewählten Parametern und Eigenschaften erstellen kann. Es bleibt jetzt eigentlich nur noch die bemerkenswerte Prüfsumme (++++). Sie ergibt sich als base64-kodiertes Ergebnis 0xfbefbe der CRC24-Prüfung über alle Bytes des Schlüssels. Da diese alle vorgegeben sind, ist ein so cooler Wert schon ein merkwürdiger Zufall.

Die Zeile beginnt mit einem =, das nicht mit einem Padding-Byte der base64-Kodierung verwechselt werden kann. Denn wegen der Zeilenlänge von 64 Zeichen sind ja die Padding-Bytes der kodierten Schlüsseldaten niemals am Zeilenanfang.

```
-----BEGIN PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
```

```
x1IEXgvhABMIkoZIZjODAQcCAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxyOkCJHgXi+R/EG+G/
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLrionDb+IK5uZenyCJu5KavT6MLzTVFcm5zdCBHIEDp
ZXNzbWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubW
EwgAdhYhBCIUz+oqol0pZOCKvp96MRnfkRDrBQJeC+EBAhsDBQkUt8J/BQsJCAcC
BRUKCQgLBbYCAwE4Gmh0dHA6Ly93d3cuaW5mb3JtYXRpay5odS1iZXJsaW4uZGUv
fmdpZXNzbWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubWVubW
qHenbyU5jDXrjs+6L9/Mgd6bwjDCyyC4nBoBAPc6pgo5mh2pdIMv8RhUrbfAwzt0
axBBFCEQzSgugd43zsDFBF4TS3ABC8DGGkyFsrb7/4DsvGDWBYqzXRnlwG6kHuX8
//ErnstG+Giessmann//db5W1inL87dyI4QMt0ix7y0pBmcHx+KytXqFL70as7z9
MRhpZKTZnDtOjHtv9a2Gv/Z+tzT0/aY4poTuo2VHQqjXLd8o+ExDgS3oRkAnOVpw
fH4rIxGG1kpNmfp003SM2/1rYa/9n63NPT9pjimh06jZUdCqNct3yj4TEOBLeHG
QCc5WkNyJM7XdOpacI9jUgTeyj9xJaRjM7/23GKWvYPD6spBm05voBxHGIQJbr/7
QMxIWoQkfT6gRpEFI6IOMt59MHksbA+ZDVJG8xRtAT//oeZ9Gkjk+w12Xf+5vrne
7Se4+SKNET/arXNHZ1D5L8M4z7d+Nihd5H0UEhquqsUKa200uPWJvaRLrfue4sf
S8wxZhF22Q0S0vf0Enshn4H2I5qh1pV57htk2poPBvvsuBmIMdfZFZ3dWrTE8TmL
BUB2hci+CCz08FGbVzu5ABdAAAHCAeAQYEwgAIBYhBCIUz+oqol0pZOCKvp96MRnf
kRDrBQJeE0txAhsMAAoJEJ96MRnfkRDrXKMA/jnTE7vNWuiTsYy+TvCRdDfrjN5B
xamgfZk1jqTkvBRwAQDARsh5+VzZ7kOCqLkbcx8pMPoc2M91BSvLZWYReLqU0g==
++++
```

```
-----END PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
```

Importiert man diesen Schlüssel und exportiert man ihn darauf, so verschwindet der Name in der Mitte des Schlüsselblocks und natürlich ändert sich auch die Prüfsumme.

-----BEGIN PGP PUBLIC KEY BLOCK-----

```
mFIEXgvhABMIkOZIzjODAQCcAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxyOkCJHgXi+R/EG+G/
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLrioDb+IK5uZenyCJu5KavT6MLtDVFcm5zdCBHIEdp
ZXNzbWFubiA8Z21lc3NtYW5uQGluZm9ybWFOaWsuaHUtYmVyYm9uLmRlPoj0BBMT
CAB2FiEEIi5n6iqiU6lnQIq+n3oxGd+RE0sFA14L4QECGwMFCRS3wn8FCwkIBwIF
FQoJCAseFgIDATgaaHR0cDovL3d3dy5pbmZvcmlhdGlrLmh1LWJlcmxpb3kZS9+
Z21lc3NtYW4vZ3BnLWNwLnR4dAIEAQIXgAAKCRcfEjEZ35EQ670QAQDwC3crlc+o
d6dvJTMNeuOz7ov38yB3pvCMMLLILicGgEA9zqmCjmaHalOgy/xGFStt8DD005r
EEEUIRDNKC6B3je5AYUEXhNLcAELwMYaTIWytvv/g0y8YNYFfirNdGeXAbqQe5fz/
8Suey0b4aJ6yyZqef/91v1bWKcvzt3IjhAy06LHvLSkGZwfH4rK3FAUvs5qzvP0x
GGlkpNmC03SMe2/1rYa/9n63NPT9pjimh06jZUdCqNct3yj4TEOBlEHgQC5WnB8
fisjEYaWSk2Z8/Q7dIx7b/Wthr/2frc09P2m0KaE7qNlR0K01y3fKPhMQ4Et6EZA
JzlaQ3Ikztd3S1pwj2NSBN7KP3ElpGMzv/bcYpa9g8PqykGbTm+gHEcYhAluv/tA
zEhahCR9PqBGkQUjog4y3n0weSxsD5kNUkbzFG0BP/+h5n0aQmT7CXZd/7m+ud7t
J7j5Io0S39qtcOdmUPkvwzjMzt342KF3kc5QSGq6qxQprY7S49Ym9pEut+57ix9L
zDFmEXbZDRI6984SeyGfgfYjmqHWlXnuG2Tamg8G++y4GYgx19kVnd1atMTx0YsF
QHafYL4ILM7wUZtX07kAFOAAAYh4BBgTCAAgFiEEIi5n6iqiU6lnQIq+n3oxGd+R
E0sFA14TS3ECGwwACgkQn3oxGd+RE0tcowD+0dMTu81a6J0xjL508JFON+uM3kHF
qaB9mTW0pOS8FHABAMCtKHn6/NnuTQKouQFzHykw+hzYz2UfK8t1bJF4upQ6
=6Qiv
```

-----END PGP PUBLIC KEY BLOCK-----

Der Grund dafür findet sich in der Export-Funktion. Während alle Pakete des ursprünglichen Schlüssels das neue Format haben, sind die Pakete des exportierten Schlüssels noch im alten Format. Der Unterschied von einem Byte entsteht aus den Längen-Bytes im Signatur-Paket des Hauptschlüssels. Im neuen Format sind dafür zwei Bytes 0xc00e notwendig, während im alten Format ein Längenbyte 0xce ausreichend war (vgl. Abschnitt 4.1). Ansonsten ändern sich nur die Tags und beim Unterschlüssel-Paket noch die Werte der Längen-Bytes. Wandelt man beide Schlüsseldaten in eine Hexadezimaldarstellung mit je einem Byte pro Zeile um³⁷, kann man den Unterschied durch einfaches diff sehen.

```
diff -u0 NeuesFormat.hex AltesFormat.hex
--- NeuesFormat.hex      2020-04-25 18:11:18.307841700 +0200
+++ AltesFormat.hex      2020-04-25 18:11:20.420136800 +0200
@@ -1 +1 @@
-c6
+98
@@ -85 +85 @@
-cd
+b4
@@ -140,3 +140,2 @@
-c2
-c0
-0e
+88
+ce
```

³⁷xxd -p -c1

```

@@ -349,3 +348,3 @@
-ce
-c0
-c5
+b9
+01
+85
@@ -741 +740 @@
-c2
+88

```

Wenn man jetzt die Tag- und Längen-Bytes 88 ce des Signatur-Pakets im alten Format gegen die ebenfalls zulässigen Bytes 89 00 ce austauscht³⁸, dann enthält dieser OpenPGP-Schlüssel im alten Format auch wieder beide Namen.

Ohne korrekte Prüfsumme kann man diesen Schlüssel aber nicht importieren. Um sie nicht selbst berechnen zu müssen, trägt man einfach erstmal irgendeinen Wert ein. GnuPG beschwert sich dann bei dem Kommando `gpg --list-packets` und gibt den korrekten Wert auch gleich mit an. Den übernimmt man und hat dann einen korrekten Schlüssel im alten Format³⁹.

```
-----BEGIN PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
```

```

mFIEXgvhABMIkoZIZjODAQcCAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxy0kCJHgXi+R/EG+G/
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLrioDb+IK5uZenyCJu5KavT6MLtDVFcm5zdCBHIEdp
ZXNzbWFubiA8Z2llc3NtYW5uQGluZm9ybWFOaWsuaHUtYmVybGluLmRlPokAzgQT
EwgAdhYhBCIUz+oqo10pZOCKvp96MRnfkRDrBQJeC+EBAhsDBQkUt8J/BQsJCAcC
BRUKCQgLBBYCAwE4GmhOdHA6Ly93d3cuaW5mb3JtYXRpay5odS1iZXJsaW4uZGUv
fmdpZXNzbWFuL2dwZy1jcC50eHQCHgECF4AACgkQn3oxGd+REOu9EAEA8At3K5XP
qHenbyU5jDXrjs+6L9/Mgd6bwjDCyyC4nBoBAPc6pgo5mh2pdIMv8RhUrbfAwzt0
axBBFCEQzSgugd43uQGFBF4TS3ABC8DGGkyFsr7/4DsvGDWBYqzXRnlwG6kHuX8
//ErnstG+Gießmann//db5W1inL87dyI4QMt0ix7y0pBmcHx+KytXqFL70as7z9
MRhpZKTZnDtOjHtv9a2Gv/Z+tzT0/aY4poTuo2VHQqjXLd8o+ExDgS3oRkAnOVpw
fH4rIxGGlknP003SME2/1rYa/9n63NPT9pjmh06jZUdCqNct3yj4TEOBLHG
QCc5WkNyJM7Xd0pacI9jUgTeyj9xJaRjM7/23GKWvYPD6spBm05voBxHGIIQJbr/7
QMxIWoQkfT6gRpeFI6IOMt59MHksba+ZDVJG8xRtAT//oeZ9Gkjk+w12Xf+5vrne
7Se4+SKNEt/arXNHZ1D5L8M4zM7d+Nihd5HOUehquqsUKa200uPWJvaRLrfue4sf
S8wxZhF22Q0S0vf0Enshn4H2I5qh1pV57htk2poPBvvsuBmIMdfZFZ3dWrTE8TmL
BUB2hci+CCz08FGbVzu5ABDAAAGIeAQYEwgAIBYhBCIUz+oqo10pZOCKvp96MRnf
kRDrBQJeE0txAhsMAAoJEJ96MRnfkRDrXKMA/jnTE7vNWuiTsYy+TvCRdDfrjN5B
xamgfZk1jqTkvBRwAQDARsh5+vzZ7kOCqLkbcx8pMPoc2M91BSvLZWYReLqU0g==
=qJkt

```

```
-----END PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
```

Man kann sogar die beeindruckende Prüfsumme (++++) des Original-Schlüssel beibehalten. Denn da die beiden linken Bytes des Hash-Wertes in den Signaturpaketen von GnuPG nicht mehr geprüft werden, kann durch eine passende Änderung dieser Bytes die CRC24-Prüfsumme jeden beliebigen Wert annehmen⁴⁰.

³⁸`sed '^[-=]/d' | base64 -d | xxd -p | sed 's/88ce/8900ce/' | xxd -p -r | base64 -w64`

³⁹Mit dem Kommando `gpg --enarmor` kann man sich die Prüfsumme ebenfalls ausrechnen lassen.

⁴⁰Für den Prüfwert ++++ kann man zum Beispiel die Bytes bd10 gegen d19a und 5ca3 gegen b304 austauschen.

Nicht nur im eigenen Schlüssel, sondern auch in jedem fremden, kann folglich jede die beiden dem jeweiligen Hash-Wert zugeordneten Bytes so verändern, dass als Prüfsumme eine gewünschte Zeichenfolge entsteht und das, ohne dass der Schlüssel dabei ungültig wird. Eine zugegebenermaßen etwas merkwürdige und wenig vertrauenerweckende Eigenschaft.

-----BEGIN PGP PUBLIC KEY BLOCK-----

```
mFIEXgvhABMIkoZIZj0DAQcCAwTQ8aTR8t1myluI1AP2rsxyOkCJHgXi+R/EG+G/
mC0pbUT5Z3ohns8ki38HQoLriodb+IK5uZenyCJu5KavT6MLtDVFcm5zdCBHIEdp
ZXNzbWFubiA8Z2llc3NtYW5uQGluZm9ybWFOaWsuaHUtYmVybGluLmRlPokAzcQT
EwgAdhYhBCIuZ+oqol0pZOCKvp96MRnfkRDrBQJeC+EBAhsDBQkUt8J/BQsJCAcC
BRUKCQgLBBYCAwE4Gmh0dHA6Ly93d3cuaw5mb3JtYXRpay5odS1iZXJsaW4uZGUv
fmdpZXNzbWFlL2dwZy1jcC50eHQCHgECF4AACgkQn3oxGd+RE0vRmgEA8At3K5XP
qHenbyU5jDXrjs+6L9/Mgd6bwjDCyyC4nBoBAPc6pgo5mh2pdIMv8RhUrbfAwzt0
axBBFCEQzSgugd43uQGFBF4TS3ABC8DGgkyFsr7/4DsvGDWBYqzXRnlwG6kHuX8
//ErnstG+Giessmann//db5W1inL87dyI4QMt0ix7y0pBmcHx+KytXQFL70as7z9
MRhpZKTZnDt0jHtv9a2Gv/Z+tzT0/aY4poTuo2VHQqjXLd8o+ExDgS3oRkAn0Vpw
fH4rIxGGlKpNmfP003SME2/1rYa/9n63NPT9pjimh06jZUdCqNct3yj4TE0BLEhG
QCc5WkNyJM7Xd0pacI9jUgTeyj9xJaRjM7/23GKWvYPD6spBm05voBxHGIQJbr/7
QMxIW0QkfT6gRpEFI6IOMt59MHksbA+ZDVJG8xRtAT//oeZ9Gkjk+w12Xf+5vrne
7Se4+SKNET/arXNHZ1D5L8M4zM7d+Nihd5H0UEhquqsUKa200uPWJvaRLrfue4sf
S8wxZhF22Q0S0vf0Enshn4H2I5qh1pV57htk2poPBvvsuBmIMdfZFZ3dWrTE8TmL
BUB2hci+CCz08FGbVzu5ABdAAAAGIeAQYEwgAIBYhBCIuZ+oqol0pZOCKvp96MRnf
kRDrBQJeE0txAhsMAAoJEJ96MRnfkRDrswQA/jnTE7vNWuiTsYy+TvCRdDfrjN5B
xamgfZk1jqTkVBRwAQDARsh5+vzZ7kOCqLkbcx8pMPoc2M91BSvLZWYReLqU0g==
=++++
```

-----END PGP PUBLIC KEY BLOCK-----

Und abschließend bemerkt, eine Zeichenkette ABdAAA habe ich auch wieder gefunden [12].

Literatur

- [1] W. Koch, B. Carlson, R.H. Tse, D.A. Atkins, D.K. Gillmor: OpenPGP Message Format, draft-ietf-openpgp-rfc4880bis-10, IETF Internet-Draft, 2020-08-31⁴¹
- [2] W. Polk, R. Housley, L. Bassham: Algorithms and Identifiers for the Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile, RFC 3279, IETF Standards Track, 2002-14
- [3] J. Callas, L. Donnerhake, H. Finney, D. Shaw, R. Thayer: OpenPGP Message Format, RFC 4880, IETF Standards Track, 2007-11
- [4] D. Cooper, S. Santesson, S. Farrell, S. Boeyen, R. Housley, W. Polk: Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile, RFC 5280, IETF Standards Track, 2008-05
- [5] P. Resnick, Ed.: Internet Message Format, RFC 5322, IETF Standards Track, 2008-10
- [6] R. Housley: Cryptographic Message Syntax (CMS), RFC 5652, IETF Standards Track, 2009-09
- [7] A. Jivsov: Elliptic Curve Cryptography (ECC) in OpenPGP, RFC 6637, IETF Standards Track, 2012-07
- [8] J. Schaad: S/MIME Capabilities for Public Key Definitions, RFC 6664, IETF Informational RFC, 2012-07
- [9] P. Deutsch, J-L. Gailly: ZLIB Compressed Data Format Specification version 3.3, RFC 1950, IETF Informational RFC, 1996-05
- [10] P. Deutsch: DEFLATE Compressed Data Format Specification version 1.3, RFC 1951, IETF Informational RFC, 1996-05
- [11] MAGMA: Online-Calculator, <http://magma.maths.usyd.edu.au/calc>
- [12] A. Yousar: Wer hat ABdAA in seinem PGP-Schlüssel?, Manuskript, 2006-01-16

⁴¹Die RFCs findet man im Internet unter <https://ietf.org>. Bei einer Suche reicht die Kombination von „RFC“ und Nummer auch aus.