Passwortsicherheit

Dozent: Prof. Dr. Michael Eichberg
Kontakt: michael.eichberg@dhbw-mannheim.de
Version: 2.0

Folien: [HTML] https://delors.github.io/sec-passwortsicherheit/folien.de.rst.html

[PDF] https://delors.github.io/sec-passwortsicherheit/folien.de.rst.html.pdf

Fehler melden:

https://github.com/Delors/delors.github.io/issues

1. Passwörter: Verwendung und Angriffe

Verwendung von Passworten

Klassische Passwörter werden (noch immer) in zahlreichen Bereichen verwendet. Beispiele sind Smartphones, Cryptosticks, Logins für Computer und Serversysteme, verschlüsselte Dateien und Datenträger.

Hintergrund

Obwohl an vielen Stellen versucht wird Passwörter aus vielen Gründen zurück zu drängen, so ist die Verwendung noch allgegenwärtig und in machen Bereichen ist auch nicht unmittelbar eine Ablösung zu erkennen.

Biometrie ist zum Beispiel in machen Bereichen kein Ersatz für Passwörter und wird - wenn überhaupt - nur ergänzend genommen. So ist es zum Beispiel im deutschen Recht erlaubt/möglich einem Beschuldigten sein Smartphone bei Bedarf vor das Gesicht zu halten, um es zu entsperren (Stand 2023). Je nach Qualität des Fingerabdrucksensors können ggf. auch genommene Fingerabdrücke verwendet werden. Möchte der Beschuldigte jedoch das Passwort nicht freiwillige nennen, dann besteht keine direkte weitere Handhabe.

Microsoft said hackers working for the Russian government breached its corporate networks recently and stole email from executives and some employees to find out what the company knew about them. The tech company said the breach was not due to any flaw in its software, but rather began with a "password spraying." The technique worked on what Microsoft said was an old test account, and the hackers then used the account's privileges to get access to multiple streams of email.

—19. Januar 2024: The Washington Post; Joseph Menn

Researchers Uncover How Outlook Vulnerability Could Leak Your NTLM Passwords

A now-patched security flaw in Microsoft Outlook could be exploited by threat actors to access NT LAN Manager (NTLM) v2 hashed passwords when opening a specially crafted file.

[...] Varonis security researcher Dolev Taler, who has been credited with discovering and reporting the bug, said NTLM hashes could be leaked by leveraging Windows Performance Analyzer (WPA) and Windows File Explorer. These two attack methods, however, remain unpatched.

"What makes this interesting is that WPA attempts to authenticate using NTLM v2 over the open web," Taler said.

—29. Januar 2024: The Hacker News

59 Prozent aller Passwörter in unter 60 Minuten knackbar

Forscher haben per Brute-Force-Methode mit einer Nvidia Geforce RTX 4090 Millionen von Passwörtern aus dem Darknet geknackt.

[...] Sicherheitsforscher von Kaspersky haben untersucht, wie schnell sich gängige Passwörter mit einer modernen GPU vom Typ Nvidia Geforce RTX 4090 knacken lassen. Durchgeführt wurde die Untersuchung anhand einer Datenbank mit 193 Millionen echten Nutzerpasswörtern, die die Forscher aus dem Darknet bezogen. Sämtliche Passwörter lagen dabei in Form von gesalzenen MD5-Hashes vor. [...]

—21. Juni 2024: golem.de

An AI just cracked your password.

We used [...] PassGAN to run through a list of 15,680,000 passwords. [...]

Time It Takes Using AI to Crack Your Password

# OF CHARACTER	Numbers Only	Lowercase Letters	Lower- & Uppercase Letters	Numbers, Upper- & Lowercase Letters	Numbers, Upper- & Lowercase Letters, Symbols
4	Instantly	Instantly	Instantly	Instantly	Instantly
5	Instantly	Instantly	Instantly	Instantly	Instantly
6	Instantly	Instantly	Instantly	Instantly	4 Seconds
7	Instantly	Instantly	22 Seconds	42 Seconds	6 Minutes
8	Instantly	3 Seconds	19 Minutes	48 Minutes	7 Hours
9	Instantly	1 Minutes	11 Hours	2 Days	2 Weeks
10	Instantly	1 Hours	4 Weeks	6 Months	5 Years
11	Instantly	23 Hours	4 Years	38 Years	356 Years
12	25 Seconds	3 Weeks	289 Years	2K Years	30K Years
13	3 Minutes	11 Months	16K Years	91K Years	2M Years
14	36 Minutes	49 Years	827K Years	9M Years	187M Years
15	5 Hours	890 Years	47M Years	613M Years	14Bn Years
16	2 Days	23K Years	2Bn Years	26Bn Years	1Tn Years
17	3 Weeks	812K Years	539.72M Years	2Tn Years	95Tn Years
18	10 Months	22M Years	7.23Bn Years	96Tn Years	6Qn Years

—2023: Home Security Heroes

Auf der Webseite https://www.securityhero.io/ai-password-cracking/ wird ein Tool angeboten, dass eine Schätzung vornimmt wie lange eine AI braucht, um das Passwort zu knacken.

Empfohlene Tests:

- start
- Start
- StartStart
- startstart!

Wie bewerten Sie die Einschätzungen dieses Tools?

Check Your Accounts: 10 Billion Passwords Exposed in Largest Leak Ever

The 'RockYou2024' database includes almost 10 billion passwords pulled from 'a mix of old and new data breaches.' Here's how to check if yours are at risk.

[...]Researchers at Cybernews have uncovered a massive trove of nearly 10 billion passwords on a popular hacking forum in what they're calling "largest password compilation" ever.

The file, titled `rockyou2024.txt`*, was posted on July 4 by someone going by the name ObamaCare and contains a mind-boggling 9,948,575,739 unique plaintext passwords. The user only joined the forum in late May, but they've posted data from other breaches, too. [...]*

—6. Juli 2024: PCMag

Raum der Passwortkandidaten

vierstellige PIN:

10.000 Kombinationen

Passwort mit 8 Zeichen und 70 Zeichen im Zeichensatz (a-z, A-Z, 0-9 und ausgewählte Sonderzeichen):

$70^8 = 576.480.100.000.000 \approx 5,7 \times 10^{14}$ Kombinationen

Passphrase mit 6 Wörtern aus einem Wörterbuch mit 2.000 Wörtern:

$2.000^6 = 6,4 \times 10^{19}$ Kombinationen

Passphrase mit 4 Wörtern aus einem Wörterbuch mit 100.000 Wörtern:

$100.000^4 = 1 \times 10^{20}$ Kombinationen

Passwort mit 16 Zeichen und 84 Zeichen im Zeichensatz (a-z, A-Z, 0-9 und die meisten Sonderzeichen):

$84^{16} = 6,14 \times 10^{30}$ Kombinationen

Eine vierstellige PIN kann niemals als sicher angesehen werden. Selbst wenn ein Bruteforce nur auf 4 oder 5 Versuche pro Stunde kommt, so ist es dennoch in wenigen Monaten möglich die PIN zu ermitteln.

Quellen für Passwortkandidaten

- Wörterbücher
- Verzeichnisse (z.B. Postleitzahlen, Städte, Straßennamen)
- Leaks

  (Sammlungen von realen Passwörtern, die meist von Hackern veröffentlicht wurden.)

  - Rockyou
  - LinkedIn
  - Sony
  - etc.

Qualität von Passworten

Wie ist die Qualität der folgenden Passwörter zu bewerten in Hinblick darauf wie aufwändig es ist das Passwort ggf. wiederherzustellen:

1. Donaudampfschifffahrt
2. Passwort
3. ME01703138541
4. 2wsx3edc4rfv
5. Haus Maus
6. iluvu
7. Emily18
8. MuenchenHamburg2023!!!!
9. hjA223dn4fw"üäKßß k`≤-~ajsdk
10. Baum Lampe Haus Steak Eis Berg
11. password123

2. Kryptografische Hashfunktionen und Passwörter

Warnung

Es ist nie eine Option Passwörter im Klartext zu speichern.

Hashfunktionen (Wiederholung)

- Eine Hashfunktion H akzeptiert eine beliebig lange Nachricht M als Eingabe und gibt einen Wert fixer Größe zurück: $h = H(M)$.
- Eine Änderung eines beliebigen Bits in M sollte mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Änderung des Hashwerts h führen.
- Kryptographische Hashfunktionen werden für die Speicherung von Passwörtern verwendet.

Kollisionen bei Hashes

Wenn ein Passwort „nur” als Hash gespeichert wird, dann gibt es zwangsläufig Kollisionen und es kann theoretisch passieren, dass ein Angreifer (zufällig) ein völlig anderes Passwort findet, dass bei der Überprüfung des Passworts akzeptiert wird. Die Konstruktion kryptografischer Hashfunktionen stellt jedoch sicher, dass dies in der Praxis nicht auftritt. Sollte jedoch eine „normale Hashfunktion” genommen werden, dann ist dieses Szenario durchaus realistisch.

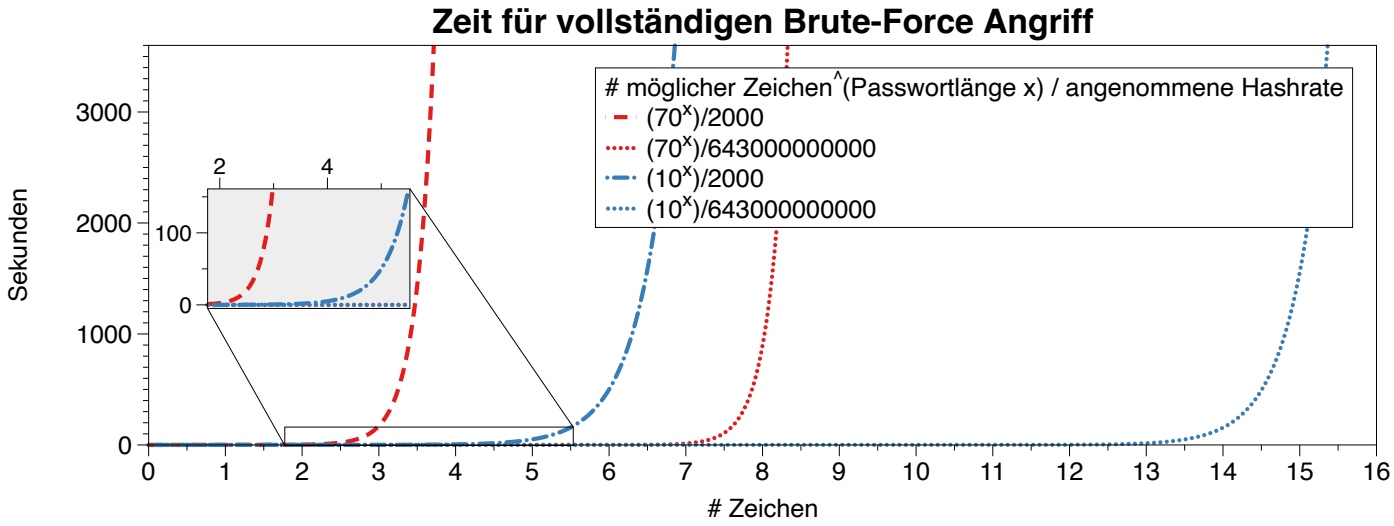
Hashraten in MH/s auf aktueller Hardware

Hashcat Mode (Hashcat 6.2.6)	Hash	RTX 1080Ti (250 W)	RTX 2080TI (260 W)	RTX 3090 (350 W)	RTX 4090 (450 W)
25700	Murmur				643700.0 (643 GH/s)
23	Skype	21330.1	27843.1	37300.7	84654.8
1400	SHA2-256	4459.7	7154.8	9713.2	21975.5
10500	PDF1.4-1.6	24.9	29.8	76.8	122.0
1800	SHA 512 Unix (5000 Iterations)	0.2	0.3	0.5	1.2
13723	Veracrypt SHA2- 512 + XTX 1536Bit	0.0004	0.0006	0.0009	0.002 (2000 H/s)

Quellen:

- 4090: https://gist.github.com/Chick3nman/e4fcee00cb6d82874dace72106d73fef
- 3090: https://gist.github.com/Chick3nman/e4fcee00cb6d82874dace72106d73fef
- 1080Ti: https://www.onlinehashcrack.com/tools-benchmark-hashcat-nvidia-gtx-1080-ti.php
- 2080Ti: https://gist.github.com/binary1985/c8153c8ec44595fdabbf03157562763e

Brute-Force Angriff auf lange Passworte



Kryptografische Hashfunktionen für Passworte

Warnung

Bekannte kryptografische Hash-Funktionen wie ~~MD4~~, ~~MD5~~, SHA-256, SHA-512 oder auch RIPE-MD sind für das Hashen von Passwörtern nicht geeignet.

- Zur Schlüsselableitung bzw. zum Hashen von Passwörtern wurden spezialisierte Funktionen entwickelt. Zum Beispiel: PBKDF2, Scrypt, Bcrypt und die Argon2 Familie. Diese wiederstehen gängigen Angriffen.

  PBKDF2 verwendet zum Beispiel beim Hashing von Passwörtern klassische Basisalgorithmen (z. B. SHA-256) und wiederholt diese mehrfach (ggf. viele hunderttausend Male), um die Laufzeit zu verlängern und es für Angreifer schwieriger zu machen.

- Diese Algorithmen sind parametrisierbar, um sie an verschiedene Zwecke anpassen zu können. Je nach Parametrisierung sind diese so rechenintensiv, dass sie z. B. nicht für Webanwendungen mit vielen Nutzern geeignet sind.

Parametrisierungen, die die Laufzeit und den Speicherbedarf so stark erhöhen, dass eine Verwendung in Webanwendungen nicht mehr sinnvoll ist, können z. B. ideal sein zum Schutz von Dateien, Containern oder lokaler Festplatten.

Vom Salzen (🇺🇸 *Salt*) ...

Beobachtung/Problem

Werden Passwörter direkt mit Hilfe einer kryptografischen Hashfunktion gehasht, dann haben zwei Nutzer, die das gleiche Passwort verwenden, den gleichen Hash.

User	Hash
Alice	sha256_crypt.hash('**DHBWMannheim**',salt='',rounds=1000) = `$5$rounds=1000$$lb/CwYgN/xR9dqYuYxYVtWkxMEh.VK.QOC9IKmy9DP/`
Bob	sha256_crypt.hash('**DHBWMannheim**',salt='',rounds=1000) = `$5$rounds=1000$$lb/CwYgN/xR9dqYuYxYVtWkxMEh.VK.QOC9IKmy9DP/`

Lösung

Passwörter sollten immer mit einem einzigartigen und zufälligen „Salt” gespeichert werden, um Angriffe mittels Regenbogentabellen zu verhindern.

User	Hash
Alice	**sha256_crypt.hash('DHBWMannheim',salt='0123456',rounds=1000)** `$5$rounds=1000$0123456$66x8MB.qev25coq9OVrD1lr1ZGJJelAzOVlCDZykrY0`
Bob	**sha256_crypt.hash('DHBWMannheim',salt='1234567',rounds=1000)** `$5$rounds=1000$1234567$LxD/hg29N9KYpNdFMW69Kk65BLkVLlzlSEJvqhCmFU9`

Rainbow Tables

Eine *Rainbow Table* (🇪🇪 *Regenbogentabelle* - Verwendung jedoch nicht gängig) bezeichnet eine vorberechnete Tabelle, die konzeptionell zum einem Hash ein jeweilig dazugehörendes Passwort speichert und einen effizienten Lookup ermöglicht. Dies kann ggf. die Angriffsgeschwindigkeit sehr signifikant beschleunigen, auch wenn die Tabellen sehr groß sind und ggf. in die Terabytes gehen.

Aufgrund der allgemeinen Verwendung von Salts sind Angriffe mit Hilfe von Regenbogentabellen heute (fast nur noch) von historischer Bedeutung.

Vom Salzen (🇺🇸 *Salt*)...

- Ein *Salt* sollte ausreichend lang sein (zum Beispiel mind. 16 Zeichen oder 16 Byte).
- Ein *Salt* darf nicht wiederverwendet werden.
- Ein *Salt* wird am Anfang oder am Ende an das Passwort angehängt bevor selbiges gehasht wird.
- Ein *Salt* unterliegt (eigentlich) keinen Geheimhaltungsanforderungen.

Problem

Sollte es einem Angreifer gelingen in eine Datenbank einzubrechen und die Tabellen mit den Nutzerdaten abzufragen (zum Beispiel aufgrund einer erfolgreichen SQL Injection), dann ist es Ihm danach direkt möglich zu versuchen Passworte wiederherzustellen.

Speicherung von Salts

In Webanwendungen bzw. allgemein datenbankgestützten Anwendungen wird der *Salt* häufig in der selben Tabelle gespeichert in der auch der Hash des Passworts gespeichert wird. Im Falle von verschlüsselten Dateien, wird der Salt (unverschlüsselt) mit in der Datei gespeichert.

... und Pfeffern (🇺🇸 *Pepper*) von Passwörtern

(In Normen bzw. in anderer Literatur wird häufig statt *Pepper Secret Key* verwendet.)

- Wie ein *Salt* geht auch der *Secret Key* in den Hashvorgang des Passworts ein.
- Der *Secret Key* wird jedoch **nicht** mit den Hashwerten der Passworte gespeichert.
  - Ein *Secret key* kann zum Beispiel in einem Hardwaresicherheitsmodul (z.B. Secure Element oder TPM Chip) gespeichert werden.
  - Gel. wird der *Secret Key* bzw. ein Teil davon auch im Code bzw. einer Konfigurationsdatei gespeichert.
- Der *Secret Key* sollte zufällig sein.
- Wie ein Salt sollte auch auch *Secret Key* mind. 16 Byte lang sein.

  Diese Länge ist erforderlich um einen Brute-Force Angriff auf den *Secret Key* zu verhindern, sollte dem Angreifer zu *einem Hash und Salt auch noch das Klartext Passwort bekannt sein*.

Verwendung sicherer Hash- bzw. Schlüsselableitungsfunktionen für Passworte

Argon2: z.B. verwendete von LUKS2

bcrypt: basierend auf Blowfish; z. B. verwendet in OpenBSD

scrypt: z.B. (ergänzend) verwendet für das Hashing von Passwörtern auf Smartphones

yescrypt: z.B. moderne Linux Distributionen

PBKDF2-HMAC-SHA256: Ethereum Wallets

Bemerkung

Häufig werden die „Hashwerte" von Passwörtern in Datenbanken oder Dateien als Base64 kodierter String gespeichert.

PBKDF2 (Password-Based Key Derivation Function 2)

- Dient der Ableitung eines Schlüssels aus einem Passwort.
- Das Ergebnis der Anwendung der PBKDF2 wird zusammen mit dem *Salt* und dem Iterationszähler für die anschließende Passwortverifizierung gespeichert.
- die $PBKDF2$ Schlüsselableitungsfunktion hat 5 Parameter

  $DK = PBKDF2$(PRF, Password, Salt, c, dkLen):

  PRF: eine Pseudozufallsfunktion; typischer Weise ein HMAC[1]
  Password: das Masterpasswort
  Salt: der zu verwendende Salt
  c: Zähler für die Anzahl an Runden
  dkLen: die Bitlänge des abgeleiteten Schlüssels (🇺🇸 *derived key length*)

[1] Ein HMAC bietet sich an, da wir ein Passwort und ein Hash haben.

Die PBKDF2 ist nicht für das eigentliche Hashen zuständig sondern „nur" für das Iterieren der Hashfuntion und das eigentliche Key-stretching.

Laut OWASP sollten zum Beispiel für PBKDF2-HMAC-SHA512 600.000 Iterationen verwendet werden.

PBKDF2-HMAC

(HMAC = Hash-based Message Authentication Code)

Im Fall von PBKDF2 ist das Passwort der HMAC Schlüssel (🇺🇸 *Key*) und das Salz die Nachricht M.

Beispielcode

```
from passlib.crypto.digest import pbkdf2_hmac
pbkdf2_hmac("sha256",
    secret=b"MyPassword",
    salt=b"JustASalt",
    rounds=1,   # a real value should be >> 500.000
    keylen=32 )
```


In der konkreten Anwendung ist es ggf. möglich das *Secret* auch zu Salzen und den *Salt* aus einer anderen Quellen abzuleiten.

Berechnung der ersten Runde des PBKDF2-HMAC

Bei einer Runde und passenden Blockgrößen ist das Ergebnis der PBKDF2 somit gleich mit der Berechnung des HMACs wenn der Salt um die Nummer des Blocks `\x00\x00\x00\x01` ergänzt wurde.

Implementierung in Python

```
import hashlib
pwd = b"MyPassword"
stretched_pwd = pwd + (64-len(pwd)) * b"\x00"

ikeypad = bytes(map(lambda x : x ^ 0x36 , stretched_pwd)) # xor with ipad
okeypad = bytes(map(lambda x : x ^ 0x5c , stretched_pwd)) # xor with opad

hash1 = hashlib.sha256(ikeypad+b"JustASalt"+b"\x00\x00\x00\x01").digest()
hmac  = hashlib.sha256(okeypad+hash1).digest()
```

Ergebnis

```
hmac = b'h\x88\xc2\xb6X\xb7\xcb\x9c\x90\xc2R\xf8\xb1\xf7\x10
        \xb2L\x8a\xba\xfb\x9e|\x16\x87\x87\x0e\xad\xa1\xe1:9\xca'
```


HMAC ist auch direkt als Bibliotheksfunktion verfügbar.

```
import hashlib
import hmac

hash_hmac = hmac.new(
    b"MyPassword",
    b"JustASalt"+b"\x00\x00\x00\x01",
    hashlib.sha256).digest()

hash_hmac =
    b'h\x88\xc2\xb6X\xb7\xcb\x9c\x90\xc2R...
      \x16\x87\x87\x0e\xad\xa1\xe1:9\xca'
```

Der Wert:

```
b"\x00\x00\x00\x01"
```

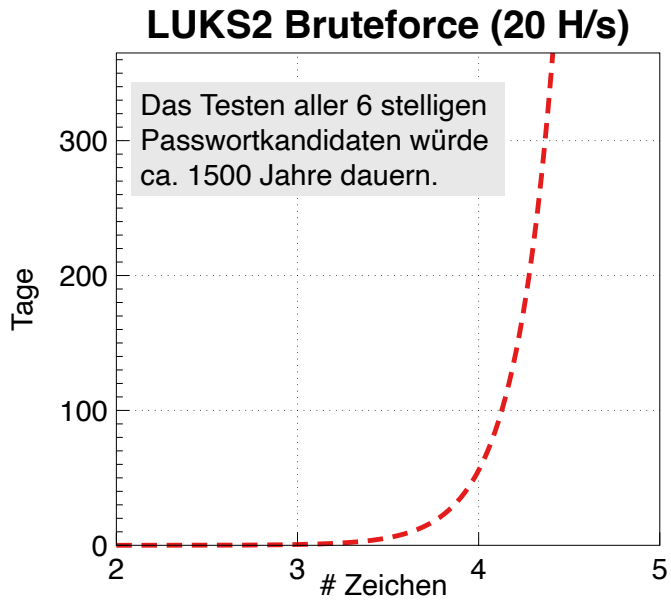
ist die Blocknummer (hier: 1).

Angriff auf LUKS2 mit Argon2

[…] The choice of Argon2 as a KDF makes GPU acceleration impossible. As a result, you'll be restricted to CPU-only attacks, which may be very slow or extremely slow depending on your CPU. To give an idea, you can try 2 (that's right, two) passwords per second on a single Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz. Modern CPUs will deliver a slightly better performance, but don't expect a miracle: LUKS2 default KDF is deliberately made to resist attacks. […]

—Elcomsoft Luks2 with Argon2

Effizienz eines Brute-Force Angriffs auf Luks2



Übung

Schwachstellenbewertung

Ihnen liegt eine externer Festplatte/SSD mit USB Anschluss vor, die die folgenden Eigenschaften hat:

- Die Daten auf der SSD/FP sind hardwareverschlüsselte Festplatte.
- Die Verschlüsselung erfolgt mit XTS-AES 256.
- Es gibt eine spezielle Software, die der Kunde installieren muss, um das Passwort zu setzen. Erst danach wird die Festplatte „freigeschaltet" und kann in das Betriebssystem eingebunden werden. Davor erscheint die SSD/FP wie ein CD Laufwerk auf dem die Software liegt.
- Die SSD/FP ist FIPS zertifiziert und gegen Hardwaremanipulation geschützt; zum Beispiel eingegossen mit Epox.
- Das Passwort wird von der Software gehasht und dann als Hash an den Controller der externen FP/SSD übertragen.
- Im Controller wird der übermittelte Hash direkt zur Autorisierung des Nutzers verwendet. Dazu wird der Hash mit dem im EPROM hinterlegten verglichen.

Diskutieren Sie die Sicherheit der Passwortvalidierung und wie diese ggf. zu verbessern wäre.

Schwachstellenbewertung

Ihnen liegt eine externer Festplatte/SSD mit USB Anschluss vor, die die folgenden Eigenschaften hat:

- Die Daten auf der SSD/FP sind hardwareverschlüsselte Festplatte.
- Die Verschlüsselung erfolgt mit XTS-AES 256.
- Es gibt eine spezielle Software, die der Kunde installieren muss, um das Passwort zu setzen. Erst danach wird die Festplatte „freigeschaltet" und kann in das Betriebssystem eingebunden werden. Davor erscheint die SSD/FP wie ein CD Laufwerk auf dem die Software liegt.
- Die SSD/FP ist FIPS zertifiziert und gegen Hardwaremanipulation geschützt; zum Beispiel eingegossen mit Epox.
- Das Passwort wird von der Software gehasht und dann als Hash an den Controller der externen FP/SSD übertragen.
- Im Controller wird der übermittelte Hash direkt zur Autorisierung des Nutzers verwendet. Dazu wird der Hash mit dem im EPROM hinterlegten verglichen.

Diskutieren Sie die Sicherheit der Passwortvalidierung und wie diese ggf. zu verbessern wäre.

3. Passworte Verstehen

Aufbau von Passworten

Von Menschen vergebene Passwörter basieren häufig auf Kombinationen von Wörtern aus den folgenden Kategorien:

- Pins: `1111`, `1234`, `123456`, …
- Tastaturwanderungen (🇺🇸 *keyboard walks*): `asdfg`, `q2w3e4r5t`, …
- Patterns: `aaaaa`, `ababab`, `abcabcabc`, …
- Reguläre Wörter aus Wörterbüchern: Duden, Webster, …
- Kontextinformationen:
  - Szenespezifisch: `acab`, `1888`, `1488`[2] szenetypischen Marken (z. B. Gucci, Ferrari), …
  - Privates Umfeld: Namen von Kindern, Eltern, Hunden, Geburtsort, Adresse, …

[2] `14` oder `1488` ist ein numerischer Code für die vierzehn Worte des David Eden Lane. (Er war ein Mitbegründer der Terrororganisation *The Order*, die für die Vorherrschaft der weißen Rasse in den USA kämpfte.)

Häufige Passworte

Eine gute Quelle für das Studium von Passwörtern sind sogenannte *Leaks* oder auch Listen mit gängigen Passwörtern. Zum Beispiel Becker's Health IT 2023:

123456	abc123	princess
password	1234	letmein
123456789	password1	654321
12345	iloveyou	monkey
12345678	1q2w3e4r	27653
qwerty	000000	1qaz2wsx
1234567	qwerty123	123321
111111	zaq12wsx	qwertyuiop
1234567890	dragon	superman
123123	sunshine	asdfghjkl

Hinweise

- Die Listen ändern sich in der Regel von Jahr zu Jahr nicht wesentlich.
- Die konkrete Methodik ist oft fragwürdig; in der Gesamtheit aber dennoch aussagekräftig.

Die Struktur von Passwörtern verstehen

Analyse auf Grundlage des „berühmten” Rockyou-Lecks.

Hier haben wir alle Kleinbuchstaben auf l, Großbuchstaben auf u, Ziffern auf d und Sonderzeichen auf s abgebildet.

llllllll	4,8037%	lllllllldd	1,4869%	ddddddddddd	0,2683%	ddddddll	0,1631%
llllll	4,1978%	llllllld	1,3474%	llldddd	0,2625%	llllls	0,1615%
lllllll	4,0849%	lllllldd	1,3246%	lllllllldd	0,2511%	ddddlll	0,1613%
lllllllll	3,6086%	lllllllllll	1,3223%	llllllllllllll	0,2340%	dlllllll	0,1583%
ddddddd	3,4003%	llldddd	1,2439%	llllddddd	0,2322%	dllllll	0,1575%
dddddddddd	3,3359%	lllldddd	1,2109%	lldddd	0,2270%	llllddddd	0,1560%
ddddddd	2,9878%	llllldddd	1,1204%	uuuuuudd	0,2189%	ddddddd	0,1557%
llllldd	2,9326%	lllllldd	1,1168%	ddddll	0,2169%	uuuudd	0,1551%
lllllllll	2,9110%	lllldddd	1,0633%	ldddddd	0,2064%	lllldddd	0,1395%
dddddd	2,7243%	llllldddd	0,9225%	ddddddddddd	0,2017%	ddlllll	0,1391%
ddddddddd	2,1453%	lllllllld	0,9059%	ullllldd	0,1930%	ullll	0,1379%
llllldd	2,0395%	lllll	0,8793%	ddddllll	0,1905%	uuuuuuuuuu	0,1378%
lllllldd	1,9092%	lllllllllll	0,8334%	uuuuuuuuu	0,1886%	lllllls	0,1374%
lllllllll	1,8697%	llllld	0,8005%	uuuuudd	0,1815%	lllllllld	0,1345%
llllddd	1,6420%	llldddd	0,7759%	lllllllddd	0,1808%	lllllllldd	0,1344%
llldd	1,5009%	ddddddddddd	0,7524%	lllllllddd	0,1725%	…	…

Die Zusammensetzung von Passwörtern verstehen

Analyse des ersten/original *Rockyou* Leaks.

∑ Passworte	**14.334.851**	**100%**
Pins	2.346.591	16,37%
Passworte mit Buchstaben	11.905.977	83,34%

Analyse der Passworte mit Buchstaben:

Kategorie	**Absolut**	**Prozentual**	**Beispiele**			
E-Mails	26.749	0,22%	me@me.com			
Zahlen gerahmt von Buchstaben	35696	0,30%	a123456a			
Leetspeak	64.672	0,54%	G3tm0n3y			
Patterns	124.347	1,04%	lalala			
Reguläre oder Populäre Wörter	4.911.647	**41,25%**	princess	iloveu		
Sequenzen	5.290	0,04%	abcdefghij			
keyboard walks (de/en)	14.662	0,12%	q2w3e4r			
Einfache Wortkombinationen	535.037	4,49%	pinkpink	sexy4u	te amo	
Komplexe Wortkombinationen	5.983.259	**50,25%**	Inparadise	kelseylovesbarry		
<Rest>	204.618	1,72%	j4**9c+p	i(L)you	p@55w0rd	sk8er4life

Hinweise

Die Sprachen, die bei der Identifizierung der Wörter berücksichtigt wurden, waren: "de, en, fr, es, pt, nl".

Populäre Wörter sind Wörter, die auf Twitter oder Facebook verwendet wurden, z.B. "iloveu", "iluvu", ...

Gedankenexperiment

Kosten und Aufwand für Passwortwiederherstellung

Sie wollen einen *SHA-256* angreifen und sie haben 100 Nvidia 4090 GPUs. Jede GPU hat eine Hash-Rate von ~22GH/s (mit Hashcat 6.2.6) und benötigt ~500 Watt pro Stunde (Wh). Der verwendete Zeichensatz besteht aus 84 verschiedenen Zeichen (z.B. a-z, A-Z, 0-9, <einige Sonderzeichen>).

1. Wie lange dauert es, ein 10-stelliges Passwort zu ermitteln (Worst Case)?
2. Wie viel Geld wird es Sie kosten, ein 10-stelliges Passwort zu knacken (Worst Case), wenn 1kWh 25ct kostet?
3. Werden Sie im Laufe Ihres Lebens in der Lage sein, ein Passwort mit 12 Zeichen Länge zu ermitteln?

Kosten und Aufwand für Passwortwiederherstellung

Sie wollen einen *SHA-256* angreifen und sie haben 100 Nvidia 4090 GPUs. Jede GPU hat eine Hash-Rate von ~22GH/s (mit Hashcat 6.2.6) und benötigt ~500 Watt pro Stunde (Wh). Der verwendete Zeichensatz besteht aus 84 verschiedenen Zeichen (z.B. a-z, A-Z, 0-9, <einige Sonderzeichen>).

1. Wie lange dauert es, ein 10-stelliges Passwort zu ermitteln (Worst Case)?
2. Wie viel Geld wird es Sie kosten, ein 10-stelliges Passwort zu knacken (Worst Case), wenn 1kWh 25ct kostet?
3. Werden Sie im Laufe Ihres Lebens in der Lage sein, ein Passwort mit 12 Zeichen Länge zu ermitteln?

Gedankenexperiment

Verstehen des Suchraums

Sie haben „ganz viele” Grafikkarten und einen sehr schnellen Hash. Sie kommen auf eine Hashrate von 1THash/Sekunde (1×10^{12}). Sie haben einen Monat Zeit für das Knacken des Passworts. Gehen Sie vereinfacht davon aus, dass Ihr Zeichensatz 100 Zeichen umfasst.

Berechnen Sie den Anteil des Suchraums, den Sie abgesucht haben, wenn das Passwort 32 Zeichen lang sein sollte und Sie dies wissen. Drücken Sie den Anteil des abgesuchten Raums in Relation zu der Anzahl der Sandkörner der Sahara aus. Gehen Sie davon aus, dass die Sahara ca. 70 Trilliarden (70×10^{21}) Sandkörner hat. [3]

[3] Astronom widerlegt die Sandkorn These (Welt.de)

Verstehen des Suchraums

Sie haben „ganz viele” Grafikkarten und einen sehr schnellen Hash. Sie kommen auf eine Hashrate von 1THash/Sekunde (1×10^{12}). Sie haben einen Monat Zeit für das Knacken des Passworts. Gehen Sie vereinfacht davon aus, dass Ihr Zeichensatz 100 Zeichen umfasst.

Berechnen Sie den Anteil des Suchraums, den Sie abgesucht haben, wenn das Passwort 32 Zeichen lang sein sollte und Sie dies wissen. Drücken Sie den Anteil des abgesuchten Raums in Relation zu der Anzahl der Sandkörner der Sahara aus. Gehen Sie davon aus, dass die Sahara ca. 70 Trilliarden (70×10^{21}) Sandkörner hat. [3]

Effekte von Passwortrichtlinien

Moderne Passwortrichtlinien (🇺🇸 *Password Policies*) machen es unmöglich, ältere Leaks *direkt* zu nutzen.

Beispiele:

- Mindestanzahl von Zeichen (maximale Anzahl von Zeichen)
- Anforderungen an die Anzahl der Ziffern, Sonderzeichen, Groß- und Kleinbuchstaben
- Anforderungen an die Vielfalt der verwendeten Zeichen
- einige Passwörter (z.B. aus bekannten Leaks und Wörterbüchern) sind verboten
- ...

Passwortrichtlinien extrem: Password Game

Die wichtigsten NIST-Richtlinien für Passwörter:

- Mindestlänge von 8 Zeichen.
- Keine Komplexitätsanforderung. Benutzer sollten auch die Möglichkeit haben, Leerzeichen einzufügen, um die Verwendung von Phrasen zu ermöglichen. Für die Benutzerfreundlichkeit [...] kann es von Vorteil sein, wiederholte Leerzeichen in getippten Passwörtern vor der Überprüfung zu entfernen.

Der Effekt von Passwortrichtlinien auf Passwörter

Reale Passwortrichtlinie:

> Nutze 1 Großbuchstabe, 1 Kleinbuchstabe, 2 Symbole, 2 Ziffern, 4 Buchstaben, 4 Nicht-Buchstaben

Exemplarisch beobachteter Effekt wenn die Passwörter vorher einfacher waren und der Benutzer gezwungen wurde diese zu erweitern:

> Password11##
>
> Password12!!

d.h. die Passworte werden mit möglichst geringem Aufwand erweitert.

Aufbau von Passwörtern - Zusammenfassung

- Passwörter, die häufig eingegeben werden müssen, basieren in den allermeisten Fällen auf „echten” Wörtern.
- Echte Wörter werden oft nicht unverändert verwendet, sondern nach einfachen Regeln umgewandelt, z.B. durch Anhängen einer Zahl oder eines Sonderzeichens, Veränderung der Groß-/Kleinschreibung, etc.

Frage

Wie können wir gute Passwortkandidaten identifizieren/generieren, wenn ein *Leak* nicht ausreicht oder nur eine kleine Anzahl von Passwörtern getestet werden kann?

Zum Beispiel dauert das Testen aller Passwörter von Rockyou...:

~13.000.000 Passworte / 5 Hashes/Sekunde ≈ 1 Monat

~13.000.000 Passworte / 5 Hashes/Stunde ≈ ~297 Jahre

4. Das Vorgehen von Angreifern verstehen

Vorgehensweise beim Testen/Generieren von Passwörtern

Aufgrund der „Unmöglichkeit” eines Brute-Force-Angriffs ist folgendes zu beachten:

- Verfügbare *Kontextinformationen sollten in die Auswahl/Generierung einfließen*.
- Es sollten nur *technisch sinnvolle* Passwörter getestet/generiert werden.
- Es sollten *keine Duplikate* getestet werden.
- Auswahl/Generierung von *Passwörten in absteigender Wahrscheinlichkeit*.
- Die Auswahl/Generierung sollte effizient sein.

Technisch sinnvolle Passwörter sind solche, die die zu Grunde liegenden Passwortrichtlinien und auch weiteren technischen Anforderungen erfüllen. Zum Beispiel den von der Software verwendeten Zeichensatz (UTF-8, ASCII, ...) oder im Falle eines Smartphones/Krytosticks die eingebbaren Zeichen.

Auf einer deutschen Standardtastatur für Macs können in Kombination mit „Shift”, „Alt” und „Alt+Shift” zum Beispiel 192 verschiedene Zeichen eingegeben werden – ohne auf Unicode oder Zeichentabellen zurückgreifen zu müssen.

Sollte der Algorithmus zum Generieren der Passwörter langsamer sein als die Zeit, die benötigt wird, um ein Passwort zu falsifizieren, dann beschränkt nicht mehr länger nur die Hashrate den Suchraum.

Ansätze und Werkzeuge zum Generieren von Passwortlisten

- Grundlegende Werkzeuge zum „Vermischen von Wörtern” (🇺🇸 *word mangling*)
  - Prince
  - Markov-Modelle (OMEN)
  - Hashcat
  - ...

Um vorhandene Kontextinformationen zu erweitern, können ggf. (frei) verfügbare Wordembeddings verwendet werden.

- RelatedWords.org setzt (unter anderem) auf ConceptNet und WordEmbeddings.
- Reversedictionary.org setzt auf WordNet und liefert ergänzende Ergebnisse.

Markov-Ketten

OMEN lernt - zum Beispiel basierend auf Leaks - die Wahrscheinlichkeiten für das Aufeinanderfolgen von Bigrammen und Trigrammen und nutzt diese, um neue Passwortkandidaten zu generieren.

Hintergrund

Eine Markov-Kette beschreibt eine Sequenz möglicher Ereignisse in welcher die Wahrscheinlichkeit des nächsten Ereignisses nur vom Zustand des vorherigen Ereignis abhängt.

Grundlegende Idee

Gegeben: `lachen, sachen, last, muster`

Bigramme: `2*la, 2*ch, 2*en, sa, 2*st, mu, er`

Auf ein `st` folgt entweder ein `er` oder `<Wortende>`; demzufolge ist `laster` ein Kandidat, aber auch `must`.

Password Cracking Using Probabilistic Context-Free Grammars [PCFG]

- Lernt die Muster, Worte, Ziffern und verwendeten Sonderzeichen basierend auf der Auswertung von realen Leaks. Die gelernte Grammatik wird als Schablone verwendet und aus „Wörterbüchern" befüllt. (Zum Beispiel: `S → D1L3S2 → 1L3!! → 1luv!!`)
- Generiert Passwortkandidaten mit absteigender Wahrscheinlichkeit.
- Prozeß:
  1. Vorverarbeitung, um die Basisstrukturen und deren Wahrscheinlichkeiten zu identifizieren (z.B. zwei Ziffern gefolgt von einem Sonderzeichen und 8 Buchstaben.)
  2. Passwortkandidatengenerierung unter Beachtung der Wahrscheinlichkeiten der Basisstrukturen und der Wahrscheinlichkeiten der Worte, Ziffern und Sonderzeichen.

     (In der Originalversion wurden die Wahrscheinlichkeiten von Worten nicht beachtet; die auf GitHub verfügbare Version enthält jedoch zahlreiche Verbesserungen.)

PCFG - Analyse - Beispiel

Im ersten Schritt werden die Produktionswahrscheinlichkeiten von Basisstrukturen, Ziffernfolgen, Sonderzeichenfolgen und Alpha-Zeichenfolgen ermittelt. (Z. Bsp.: `!cat123` $\Rightarrow S_1 L_3 D_3$)

Basis Struktur	**Häufigkeit**	**Wahrscheinlichkeit der Produktion**
L3S1D3	12788	0.75
S1L3D3	2789	0.35

S1	**Häufigkeit**	**Wahrscheinlichkeit der Produktion**
!	12788	0.50
.	2789	0.30
@	1708	0.20

L3	**Häufigkeit**	**Wahrscheinlichkeit der Produktion**
cat	12298	0.85
dog	2890	0.15

D3	**Häufigkeit**	**Wahrscheinlichkeit der Produktion**
123	10788	0.60
321	5789	0.35
654	4708	0.25

PCFG - Generierung - Beispiel

Ergebnis der Analyse:

Nich-Terminale	Produktion	Wahrscheinlichkeit der Produktion
S	`passwordT`	0.7
S	`secureT`	0.3
T	`123`	0.6
T	`111`	0.4

Hinweis

Nicht-Terminale = `[S,T]`

Terminale = `[a, b, c, d, e, …, z, 0, …, 9]`

Ableitung:

1. S ⇒ `passwordT` ⇒ `password123`
2. S ⇒ `passwordT` ⇒ `password111`
3. S ⇒ `secureT` ⇒ `secure123`
4. S ⇒ `secureT` ⇒ `secure111`

PCFG+

Next Gen PCFG Password Cracking [NGPCFG]:

Unterstützt Tastaturwanderungen (zum Beispiel `asdf` oder `qwerty12345`) und Passworte bestehend aus mehrerern Worten und wiederholten Worten (zum Beispiel `qpqpqpq`).

On Practical Aspects of PCFG Password Cracking [PAofPCFG]:

Im Wesentlichen Performanceoptimierungen, um PCFG schneller zu machen.

Using personal information in targeted grammar-based probabilistic password attacks [PIandPCFG]:

Im Wesentlichen werden zwei PCFGs gewichtet zusammengeführt ($0 < \text{alpha} < 1$).

SePass: Semantic Password Guessing Using k-nn Similarity Search in Word Embeddings [SePass]

Zusätzliche Wortkandidaten werden mithilfe von *Worteinbettungen* identifiziert. Ermöglicht es verwandte Wörter automatisch zu finden.

Example

Gegeben:

Ferrari01

!Audi!

Mercedes88

Bugatti 666

„Offensichtliche" Kandidaten für Basiswörter:

Porsche

Mclaren

Lamborghini

Aston Martin

SePass: Semantic Password Guessing Using k-nn Similarity Search in Word Embeddings

Vermeidet menschliche Voreingenommenheit.

Example

Gegeben:

Luke2017

John1976

01Mark!

„Offensichtliche" Kandidaten für Basiswörter:

Matthew

Bible

Gospel

SePass: Semantic Password Guessing Using k-nn Similarity Search in Word Embeddings

Vermeidet menschliche Voreingenommenheit.

Example

Gegeben:

Luke2017

John1976

01Mark!

„Offensichtliche" Kandidaten für Basiswörter:

Leia

Darth Vader

Palpatine

Bewertung von Passworten

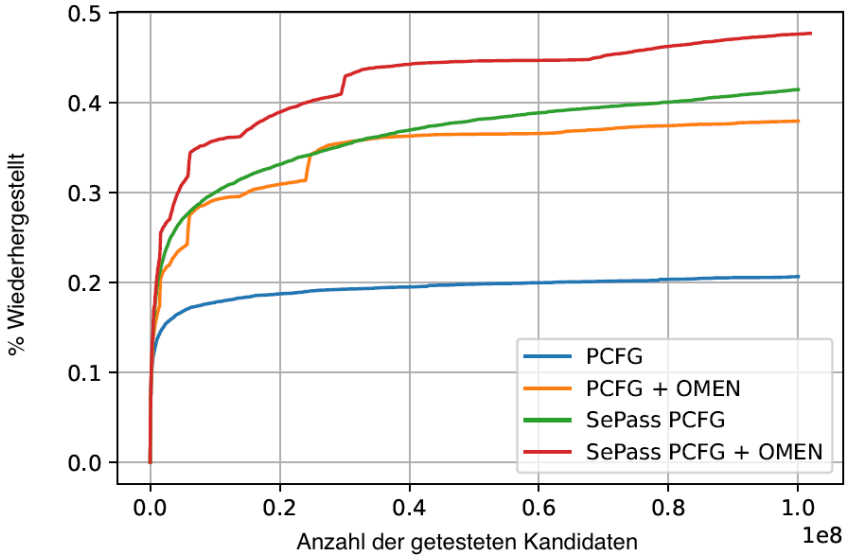
- **Donaudampfschifffahrt**: Ist weder in Rockyou noch im Duden und auch nicht in den Corpora von Twitter und Facebook von 2022 zu finden.
- **Passwort**: Nr. 93968 in Rockyou.
- **password123**: Nr. 1348 in Rockyou.
- **2wsx3edc4rfv**: So nicht in Rockyou, aber 1qaz*2wsx3edc4rfv* ist Nr. 143611 in Rockyou.
- **Haus Maus**: In Rockyou ist lediglich hausmaus zu finden.
- **iluvu**: Nr. 1472 in Rockyou.
- **Emily060218**: Emily ist Nr. 35567 in Rockyou. Die Zahl ist ganz offensichtlich ein Datum: 6. Feb. 2018 und könnte ein Geburtsdatum, Hochzeitsdatum, oder ein für die Person vergleichbar bedeutends Datum sein.
- **MuenchenHamburg2023!!!!***: Das Passwort ist zwar sehr lang aber es handelt sich vermutlich um zwei - für die entsprechende Person - bedeutende Orte. Die Zahl und die Sonderzeichen sind vermutlich auf eine Passwortrichtlinie zurückzuführen.
- **hjA223dn4fw"üäKßß k`≤-~ajsdk**: 28 Stellen basierend auf einem Zeichensatz, der vermutlich ca. 192 Zeichen pro Stelle umfasst.
- **Baum Lampe Haus Steak Eis Berg**: Es handelt sich um ein Passwort mit 30 Stellen, das vermutlich mit Hilfe von Diceware generiert wurde und 6 Worte umfasst.
- **ME01703138541**: Namenskürzel und Telefonnummer.

Diceware

Auch wenn dem Angreifer (a) bekannt ist, dass das Passwort mit Hilfe von Diceware generiert wurde, (b) die zugrundeliegende Wortliste vorliegt und (c) auch die Länge (hier 6 Worte) bekannt sein sollte, dann umfasst der Suchraum: $(6^5)^6 \approx 2,21 \times 10^{23}$ Passwortkandidaten. Sollte man also mit einer Geschwindigkeit von 1 Billion Hashes pro Sekunde angreifen können, dann brauch man noch immer über 7000 Jahre für das Absuchen des vollständigen Suchraums.

Beim klassischen Dicewareansatz umfasst das Wörterbuch 6^5 Worte, da man mit einem normalen Würfel fünfmal Würfelt und dann das entsprechende Wort nachschlägt. Würde man zum Beispiel die folgenden Zahlen würfeln: 1,4,2,5,2. Dann würde man das Wort zur Zahl: 14252 nachschlagen.

Wörterbuchgenerierung - Evaluation von Werkzeugen



Übung - Wiederherstellung eines Passworts

Gegeben sei ein MD5 Hash

```
81dc9bdb52d04dc20036dbd8313ed055
```

Hinweise: Das Passwort ist kurz, besteht nur aus Ziffern und ist sehr häufig.

Wenn Sie Python verwenden wollen, dann können Sie den folgenden Code als Ausgangspunkt verwenden:

```
import hashlib
import binascii

hash = binascii.unhexlify ('81dc9bdb52d04dc20036dbd8313ed055')

""" In some loop do: hashlib.md5(...).digest() """
```

Gegeben sei ein MD5 Hash

```
81dc9bdb52d04dc20036dbd8313ed055
```

Hinweise: Das Passwort ist kurz, besteht nur aus Ziffern und ist sehr häufig.

Wenn Sie Python verwenden wollen, dann können Sie den folgenden Code als Ausgangspunkt verwenden:

```
import hashlib
import binascii

hash = binascii.unhexlify ('81dc9bdb52d04dc20036dbd8313ed055')

""" In some loop do: hashlib.md5(...).digest() """
```

Sichere Passwörter

- Nehmen Sie kein Passwort, dass 1:1 in einem Wörterbuch, Verzeichnis oder Leak (vgl. https://haveibeenpwned.com) vorkommt.
- Nehmen Sie keine Szenepasswörter (zum Beispiel: admin, root, acab, 1312, 88, ...).
- Je länger desto besser, aber keine trivialen Sätze.
- Wählen Sie ein Passwort, dass sie sich merken können. Kombinieren Sie z.B. Dinge aus Ihrem privaten Umfeld, die aber niemand direkt mit Ihnen in Verbindung bringen kann. (D.h. die Namen Ihrer Kinder, Haustiere, etc. sind keine gute Wahl, aber ggf. das Modell Ihres Fernsehers in Kombination mit einer Pin und dem Namen Ihres ersten Smartphones getrennt durch ein paar Sonderzeichen).

Literaturverzeichnis

[SePass] SePass: Semantic Password Guessing Using k-nn Similarity Search in Word Embeddings; Maximilian Hünemörder, Levin Schäfer, Nadine-Sarah Schüler, Michael Eichberg & Peer Kröger, ADMA 2022: Advanced Data Mining and Applications, Springer LNAI, volume 13726

[PCFG] S. Aggarwal, M. Weir, B. Glodek and B. Medeiros, Password Cracking Using Probabilistic Context-Free Grammars, in 2009 30th IEEE Symposium on Security and Privacy (SP); doi: 10.1109/SP.2009.8

[NGPCFG] S.Houshmand, S. Aggarwal and R. Flood, Next Gen PCFG Password Cracking, in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 10, no. 8, pp. 1776-1791, Aug. 2015, doi: 10.1109/TIFS.2015.2428671.

[PAofPCFG] Hranický, R., Lištiak, F., Mikuš, D., Ryšavý, O. (2019). On Practical Aspects of PCFG Password Cracking. In: Foley, S. (eds) Data and Applications Security and Privacy XXXIII. DBSec 2019. Lecture Notes in Computer Science(), vol 11559. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22479-0_3

[PIandPCFG] Houshmand, S., Aggarwal, S. (2017). Using Personal Information in Targeted Grammar-Based Probabilistic Password Attacks. In: Peterson, G., Shenoi, S. (eds) Advances in Digital Forensics XIII. DigitalForensics 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 511. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67208-3_16