Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

SECURITY

Zufallszahlen und -generatoren

May 26, 2023

Marc Stöttinger

> Random numbers should not be generated with a method chosen at random.
>
> Donald Knuth

ZUFALLSZAHLENGENERIERUNG

- Kryptographische Verfahren benötigen sichere Zufallszahlen für
  - Wahl symmetrischer Schlüssel
  - Initialisierungsvektoren (IVs) für Betriebsmodi von Blockchiffren
  - Primzahl- und Parametergenerierung bei RSA, DSA, DH, ...

- Aber was sind „sichere“ Zufallszahlen?
  - Welche Eigenschaften müssen „sichere“ Zufallszahlen haben?
  - Wie sieht ein „sicherer“ Zufallszahlengenerator aus?

DISKUSSION IN KLEINEN GRUPPEN

Welche der folgenden Zufallszahlenfolgen sind „sicher“?

- → 42 42 42 42 42 42 42 42 42 42
- → 1 6 11 16 21 26 31 36 41 46 51
- → 3141 5926 5358 9793 2384

Eigenschaften von kryptographischen Zufallszahlen

Welche Eigenschaften machen „sichere“ Zufallszahlen aus?

BEISPIELE FÜR UNSICHERE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN

Welche der folgenden Zufallszahlenfolgen sind „sicher“?

- → 42 42 42 42 42 42 42 42 42 42 → Kein Zufall
- → 1 6 11 16 21 26 31 36 41 46 51 → Nicht gleichverteilt
- → 3141 5926 5358 9793 2384 → Vorhersagbar! Stellen von Pi sind bekannt

Eigenschaften von kryptographischen Zufallszahlen

Welche Eigenschaften machen „sichere“ Zufallszahlen aus?
Gleichverteilung, Nichtvorhersagbarkeit

WAS FÜR EIGENSCHAFTEN HABEN ZUFALLSZAHLEN?

Ideale Zufallszahlen sind **nichtvorhersehbar**, **unabhängig** und **gleichverteilt** (ideale Zufälligkeit).

- → Nichtvorhersehbarkeit: Die Zufallszahl ist vor der Generierung mit einem gewissen Grad der Ungewissheit nicht vorhersehbar. Der Grad der Ungewissheit kann durch die Entropie quantifiziert werden.
- → Unabhängigkeit: Die Erzeugung früherer Zufallszahlen darf keinen nachvollziehbaren Einfluss auf die aktuelle Erzeugung einer Zufallszahl haben.
- → Gleichverteilung: Jeder zulässige Wert einer Zufallszahl hat die gleiche Chance, einzutreten.

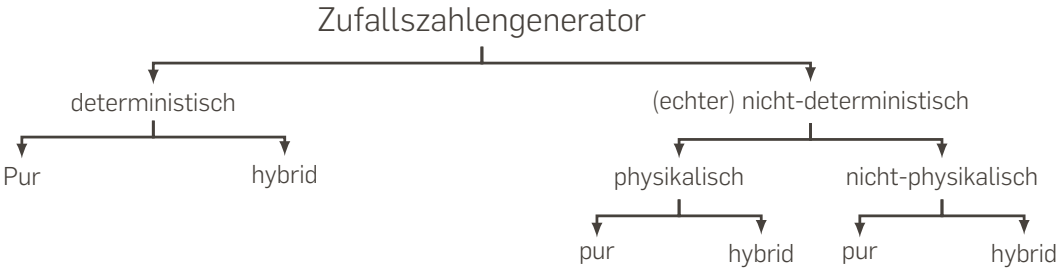
Entropie

Eine gute Entropiequelle ist essentiell für einen Zufallszahlengenerator.

KRYPTOGRAPHISCHER ZUFALLSZAHLENGENERATOREN

→ Ein RNG besteht aus einem **nicht-deterministischen** Teil (Entropiequelle) und einem **deterministischen Teil**, der aus diesen Daten die Ausgangssequenz des RNG (Zufallszahlen) erzeugt.

→ Der nicht-deterministische Teil des RNG nutzt eine **physikalische Entropiequelle** oder **nicht-physikalische Entropiequelle** zur Erzeugung einer Zufallszahlenfolge.



ECHTE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN (PTRNG)

- Der Kern eines jeden **Physical True Random Number Generator** (PTRNG) ist die **Entropiequelle → raw** Zufallszahlen.
  - Durch Ausnutzung eines analogen Signals erzeugt ein **Digitalisierungsmechanismus** eine Folge von **digitalen "rohen" Daten**
  - Ein **Nachbearbeitungsalgorithmus** wandelt die Rohdaten in **interne Zufallszahlen** um.
- **Zeitdiskrete** physikalische Entropiequelle ist z.B.,
  - Radioaktiver atomarer Zerfall
- **Analog** Physikalische Entropiequellen sind z.B.,
  - Thermische Widerstandsentropie: Die Spannung zwischen Widerständen schwankt zufällig aufgrund der Vibration von Atomen.
  - Diodendurchbruch-Entropie: Der Sperrstrom durch Dioden variiert zufällig aufgrund des Tunnelns von Elektronen.

BEISPIEL FÜR ECHTE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN (TRNG)

- → Basieren auf **nichtvorhersehbaren, physikalischen** Prozessen
  - → von bewegten Klumpen in Lavalampen
  - → Sperrstrom durch Dioden schwankt zufällig aufgrund von Tunneln von Elektronen
- → Statistische Verteilung des Rauschens ist **häufig suboptimal**
  - → Lösung: TRNG aggregiert Messungen, um gute Verteilung zu erhalten
  - → Ausgaberate des TRNGs entsprechend niedrig (~KB/sec)

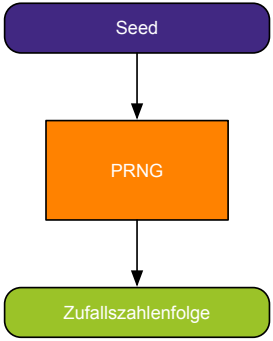
Quelle: https://www.cloudflare.com/de-de/learning/ssl/lava-lamp-encryption/

ECHTE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN (NPTRNG)

- Ein **nichtphysikalischer echter Zufallszahlengenerator** (NPTRNG) verwendet **externe Signale** als Entropiequelle.
- Das Konzept der Zufälligkeit ist der **Mangel an Information** über Prozesse und ihre Ergebnisse.
- Externe Entropiequellen sind z.B.,
  - **Prozesse** wie Platten-I/O-Operationen und Interrupts (z.B. Linux RNG **/dev/random**).
  - **Systemdaten** als Tickzähler seit Systemstart, Prozess- und Thread-IDs, und aktuelle Ortszeit (z.B. in MS Windows CE Enhanced Cryptographic Provider).
  - **Menschliche Interaktion** als Mausbewegung und Tastenanschläge (z.B. PGP-Schlüsselerzeugung).
- Eine große Menge von Daten aus verschiedenen Quellen und Nachbearbeitung (z.B. durch eine Hash-Funktion) sind erforderlich.

PSEUDO ZUFALLSZAHLENGENERATOREN (PRNG)

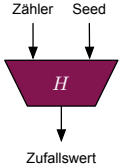
- Algorithmus, der aus einem Startwert (Seed) eine Zufallszahlenfolge erzeugt
  - Deterministisch: Gleicher Seed → Gleiche Zufallszahlenfolge
- Sicherheit eines PRNG hängt ab von
  - Zufälligkeit und Nichtvorhersagbarkeit des Seeds
  - Verwendetem Algorithmus
- Brute-Force auf Seed ist möglich, da PRNG deterministisch
  - Mindestens 2^{128} Möglichkeiten für Seed (für Rechnerische Sicherheit)
- Empfohlen Standard für Anforderungen an den Seed [SP800-90ARev1] und [SP800-90C3pd]



EIGENSCHAFTEN EINER PRNG FUNKTION

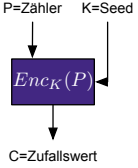
→ Sicherheitseigenschaften einer PRNG

1. Vom Zufallswert darf nicht auf den Seed geschlossen werden
   → Ansonsten: Berechnung des Seeds und Bruch der Nichtvorhersagbarkeit
2. Der Zufallswert muss gut verteilt sein
   → Ansonsten: Ausnutzung einer schlechten Verteilung



Sicherheitseigenschaften:

1. Einwegfunktion
2. Starke Kollisionsresistenz



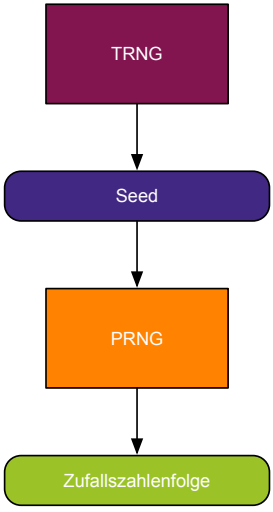
Sicherheitseigenschaften:

1. Seed nicht errechenbar aus C und P
2. eindeutige Zuordnung durch $C = Enc_K(P)$

→ Empfohler Standard für Konstruktion von PRNGs [SP800-90ARev1]

HYPRIDE ZUFALLSZAHLENGENERATOREN

- → Kurzer Seed wird aus TRNG generiert
  - → Umgeht Problem der langsamen TRNG Geschwindigkeit
- → Seed dient als Eingabe zum PRNG und wird dort beliebig erweitert
- → Kombiniert die Vorteile beider Verfahren
  - → Sicherheit basiert auf echtem Zufall
  - → Effizienz von PRNG wird genutzt
- → Empfohler Standard für Konstruktion [AIS].



PROBLEME BEI ZUFALLSZAHLENGENERATOREN

- → **Grundproblem**: Nichtvorhersagbarkeit und Gleichverteilung nur schwer prüfbar
- → Häufige Sicherheitsprobleme bei Zufallszahlengeneratoren
  - → **Konstanter Wert** oder **Uhrzeit** als Seed für PRNG (z.B: MiFare Chips [MIF])
  - → **TRNG** hat **schlechte Verteilung** (z.B.: gemeinsame Primzahl in RSA)
  - → **PRNG Eigenkonstruktionen** mit schlechtem Design (z.B.: Windows PRNG [DGP07])
  - → **Implementierungsfehler** in PRNG (z.B.: Android Java PRNG [MMS13])
- → Möglichkeiten zur Überprüfung
  - → Statistische Tests für Gleichverteilung (DieHarder Testsuite, TestU01, ...)
  - → BSI Standardisierungen für TRNGs/PRNGs (AIS 20 und 31 Standards [AIS])

ZUSAMMENFASSUNG

- → Eigenschaften kryptographischer Zufallszahlengeneratoren
- → Eigenschaften und Unterschiede von TRNGs, PRNGs und hybriden RNGs
- → Beurteilen ob gewählte Funktionen die Eigenschaften von kryptographischer Zufallszahlengeneratoren erfüllt