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

SECURITY
Integrität

May 26, 2023

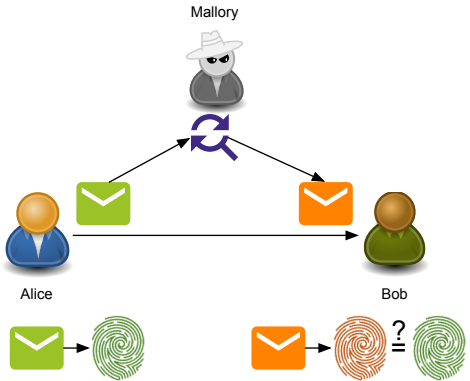
Marc Stöttinger

> Without integrity, encryption is meaningless.
>
> Bruce Schneier

MOTIVATION INTEGRITÄT

→ **Bedrohung:**
Mallory verändert die Nachricht

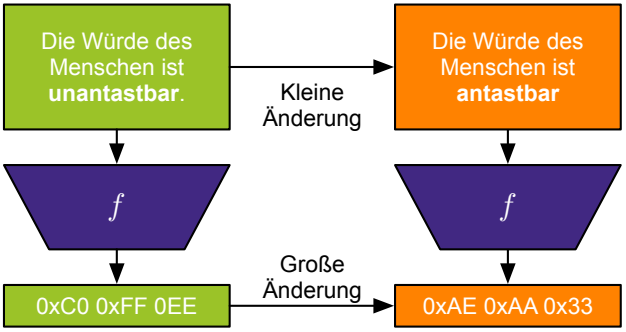
→ **Ziel:**
Eindeutiger Fingerabdruck mit dem unerlaubte Änderungen an der Nachricht erkannt werden können



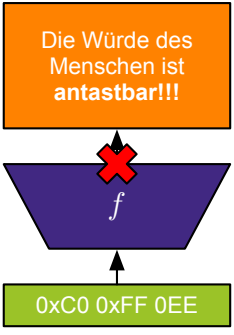
INTEGRITÄT DURCH EINWEGFUNKTIONEN

Eine Einwegfunktion f bildet einen **beliebig langen** Wert auf einen **nicht-invertierbaren** Wert fixer Länge ab

Änderungen in Eingaben von Einwegfunktionen



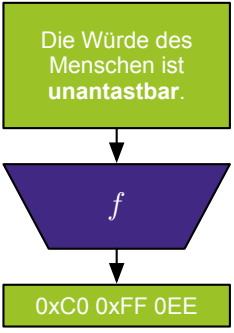
Einwegeigenschaft

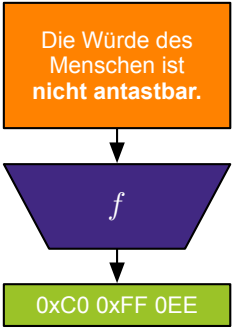


KOLLISIONSRESISTENZ VON EINWEGFUNKTIONEN

Kollisionen nicht vermeidbar, da die Länge der Nachricht reduziert wird

→ Möglicher Angriff: Ausprobieren von Nachrichten bis eine Kollision gefunden wird





Hashfunktionen

Hashfunktionen erweitern die Einwegfunktionen um Kollisionsresistenz

EIGENSCHAFTEN VON HASHFUNKTIONEN H

Eine Hashfunktion H bildet eine **beliebig lange Nachricht** m auf einen **Hashwert (Digest) fixer länge** $H(m)$ und besitzt die folgenden Eigenschaften:

1. **Einwegeigenschaft:** (Preimage resistance)
   - → Die Funktion $H(m)$ muss effizient berechenbar sein
   - → Es darf nicht möglich sein, die Funktion H zu invertieren, d.h. vom Hashwert auf ein Urbild m zu schließen

2. **Schwache Kollisionsresistenz:** (second pre-image resistance)
   - → Es darf nicht möglich sein, zu m ein anderes m' zu finden mit $m \neq m'$ und $H(m) = H(m')$

3. **Starke Kollisionsresistenz:** (collision resistance)
   - → Es darf nicht möglich sein, zwei beliebige m und m' zu finden mit $m \neq m'$ und $H(m) = H(m')$

SCHWACHE VS. STARKE KOLLISIONSRESISTENZ GEBURTSTAGSPARADOX (1/2)

→ **Beispiel:** Geburtstag am gleichen Tag im Jahr

→ **Schwache Kollisionsresistenz:**

- → Wie viele Personen müssen im Raum sein, damit mit ≥ 50% Wahrscheinlichkeit eine Person am gleichen Tag **wie Sie** Geburtstag hat?

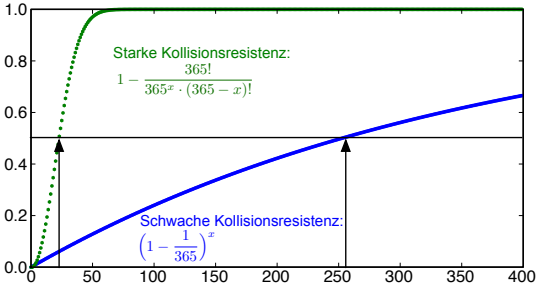
→ **Starke Kollisionsresistenz:**

- → Wie viele Personen müssen im Raum sein, damit mit ≥ 50% Wahrscheinlichkeit **zwei beliebige** Personen im Raum am gleichen Tag Geburtstag haben?

SCHWACHE VS. STARKE KOLLISIONSRESISTENZ GEBURTSTAGSPARADOX (2/2)

→ Schwache Kollisionsresistenz (Bestimmter Tag): 253

→ Starke Kollisionsresistenz (Beliebiger Tag): 26



Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Geburtstagsparadoxon

WAHL DER HASHWERTLÄNGE

- Wie lang muss ein Hashwert sein, um starke Kollisionsresistenz zu besitzen?
- **Wurzel** als obere Schranke der starken Kollisionsresistenz
  - Bei Elementen mit x-bit Länge sind bei einer Menge von $\sqrt{2^x} = 2^{\frac{x}{2}}$ zufällig gewählten Werten mit $\leq 50\%$ Wahrscheinlichkeit zwei Werte gleich
  - **Beispiel Geburtstagsparadox**: 365 Tage im Jahr, $\sqrt{365} = 19,10 \leq 26$
- Um **x-bit Berechnungssicherheit** zu erhalten, muss die **Ausgabelänge** einer **Hashfunktion $2x$−bit** sein:
  - 128-bit Sicherheit: 256-bit Ausgabelänge Hashfunktion
  - 256-bit Sicherheit: 512-bit Ausgabelänge Hashfunktion

ÜBERSICHT VON HASH ALGORITHMEN

- Basierend auf den bisher diskutierten Anforderungen von Hash-Funktionen gibt es zwei generelle Typen von Hashfunktionen:
  - Dedizierte Hashfunktionen
  - Hashfunktionen basierend auf Blockchiffren

- Um von einer beliebigen Eingabelänge auf eine fixe Ausgabe zu kommen, haben sich folgend Konstruktionsprinzipen etabliert:
  - Merkle-Damgård (Kollisionaresitenz: Hälfte der Ausgabelänge)
  - Sponge (Kollisionaresitenz: Minimum (Hälfte der Ausgabelänge, Hälfte der Kapazität)

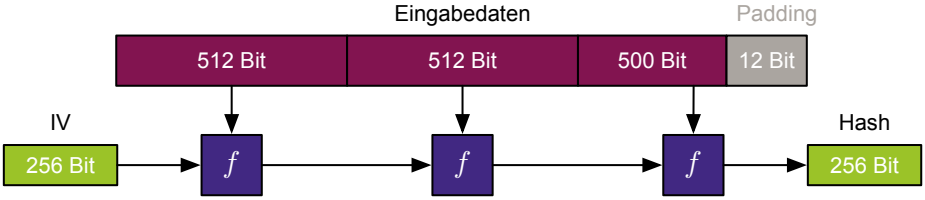
- Die Konstruktion einer Hashfunktion beruht auf der speziellen Kompressionsfunktion und einem der beiden Konstruktionsprinzipen

HASHFUNKTIONEN UND SICHERHEIT

Hashfunktion	Digest Länge [Bits]	Sicherheit
MD5	128	Schwache Kollisionsresistenz theoretisch gebrochen (2^{123} [SA09]) Starke Kollisionsresistenz praktisch gebrochen (∼35 Minuten Berechnung)
RIPEMD	128/160/256/320	RIPEME-128 Starke Kollisionsresistenz praktisch gebrochen RIPEMD-160/256/320 Sicher (Angriffe gegen Versionen mit reduzierten Runden)
SHA1	160	Schwache Kollisionsresistenz theoretisch gebrochen ($2^{159,3}$ [KK12]) Starke Kollisionsresistenz praktisch gebrochen (110 GPU Jahre Berechnung)
SHA2	224/256/384/512	Angriffe gegen Versionen mit reduzierten Runden
SHA3	224/256/384/512	Angriffe gegen Versionen mit reduzierten Runden

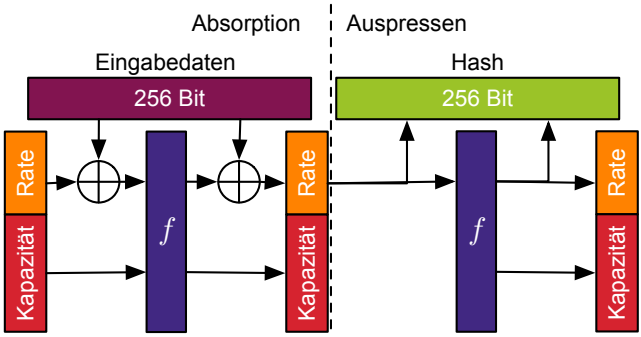
STANDARD HASH ALGORITHM 2 (SHA2)

- Standardisiert vom US NIST im Jahr 2002 als Nachfolger des SHA-1
- Kommt in den Varianten SHA2-224, SHA2-256, SHA2-384 und SHA2-512 und basiert auf einer Merkle-Damgård Konstruktion
  - Zahl am Ende ist die Bitlänge des Hashwertes
  - SHA224/256 bzw. SHA384/512 nutzen die gleiche Funktion mit unterschiedlicher Ausgabelänge
- SHA2-256 nutzt eine Kompressionsfunktion f, die 512-Bit Eingabedatenblöcke mit einem 256-Bit internen Zwischenstand verarbeitet:



STANDARD HASH ALGORITHM 3 (SHA3)

- → Standardisiert vom US NIST im Jahr 2015 als Nachfolger des SHA2 und basiert auf einer Spong-Konstruktion
- → Varianten SHA3-224,SHA3-256, SHA3-384, SHA3-512 und SHAKE128, SHAKE256
- → mit der Variante SHAKE können beliebige Länge Digest generiert werden

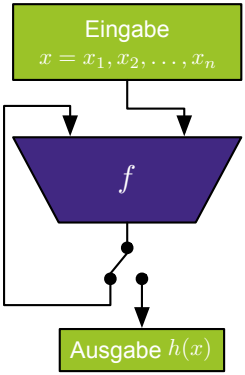


HASHFUNKTIONEN BASIEREND AUF BLOCKCHIFFREN BETRIEBSMODUS

→ Hashfunktionen, welche Blockchiffren als Permutationsfunktion benutzen, verwenden eine Merkle-Damgård-Konstruktion

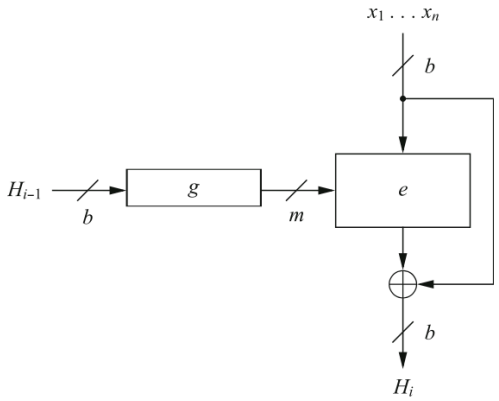
→ Die Kollisionsresistenz entspricht in den meisten Fällen der Hälfte der Blockgröße

→ Im Fall von AES-128/192/256 ist die Kollisionsresistenz der Konstruktion immer 64-Bit wegen der Blockgröße.



MATYAS-MEYER-OSEAS HASH

- Die Rückkopplung des vorherigen Hashwerts H_{i-1} geschieht über den Schlüsseleingang, die Läge muss über die Abbildungsfunktion g angepasst werden
- Funktionsvorschrift: $H_i = Enc_{g(H_{i-1})}(x_i) \oplus x_i$
- b entspricht der Blockgröße der Chiffre und m der Schlüssellänge



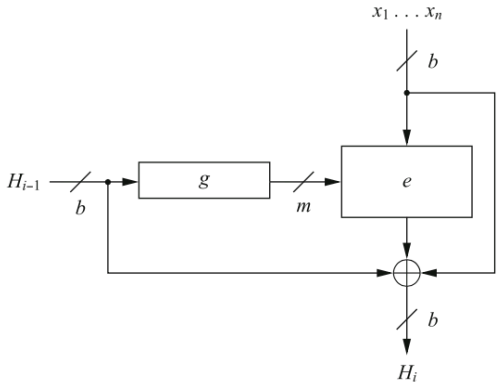
Quelle: Christoph Paar, Jan Pelz: Kryptografie verständlich, 2016, Springer

MIYAGUCHI-PRENEEL HASH

→ Die Miyaguchi-Preneel Hash-Konstruktion verknüpft noch die Message mit Digest als Ergänzung zur Matyas-Meyer-Oseas Hash-Konstruktion

→ Funktionsvorschrift:
$H_i = Enc_{g(H_{i-1})}(x_i) \oplus x_i \oplus H_{i-1}$

→ b entspricht der Blockgröße der Chiffre und m der Schlüssellänge

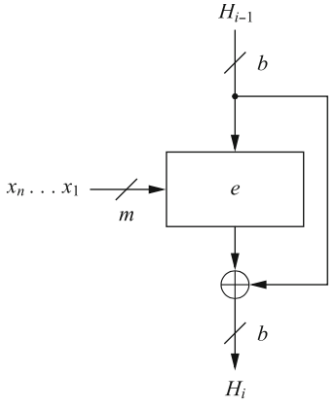


Quelle: Christoph Paar, Jan Pelz: Kryptografie verständlich, 2016, Springer

DAVIS-MEYER HASH

- → Die Davis-Meyer Hash-Konstruktion nutzt den Schlüsseleingang der Chiffre für die Texteingabe
  - → Rückkopplung des vorherigen Digest über Plaintexteingang der Chiffre
  - → Keine Abbildungsfunktion g wird benötigt.

- → Funktionsvorschrift:
  $H_i = Enc_{x_i}(H_{i-1}) \oplus H_{i-1}$



Quelle: Christoph Paar, Jan Pelz: Kryptografie verständlich, 2016, Springer

ZUSAMMENFASSUNG

- → Einsatzzwecke und Eigenschaften von kryptographischen Hashfunktionen
- → Unterschied zwischen schwacher und starker Kollisionsresistenz
- → Existierende kryptographische Hashfunktionen kennen (dedizierte und auf Blockchiffren basierende Hashfunktionen)
- → Beurteilung ob eine Funktion die Eigenschaften der kryptographischer Hashfunktionen erfüllt