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

SECURITY

Authentizität und Verbindlichkeit

June 3, 2023

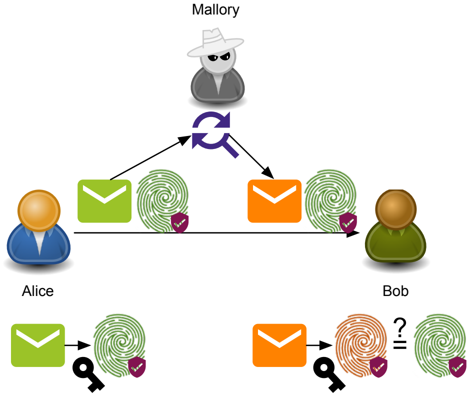
Marc Stöttinger

> Authenticity is the bedrock of cryptography, for without it, even the strongest encryption is worthless.
>
> Bruce Schneier

INTEGRITÄT UND AUTHENTIZITÄT DURCH MESSAGE AUTHENTICATION CODES

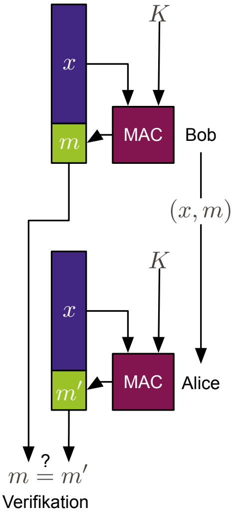
- **Bedrohung:**
  - Integrität: Mallory ändert die Nachricht
  - Authentizität: Mallory fälscht eine Nachricht und gibt sich als Alice aus

- **Ziele:**
  - Integrität: Bob kann prüfen, ob die Nachricht verändert wurde
  - Authentizität: Bob kann prüfen, ob die Nachricht von Alice stammt



WIESO REICHT INTEGRITÄT NICHT AUS?

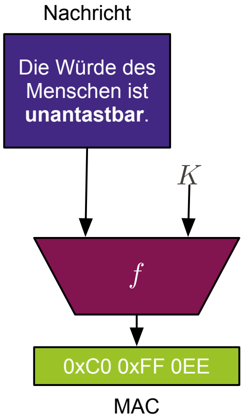
- Integrität garantiert nur, dass Veränderungen erkannt werden, z.B Fehler bei der Übertragung.
  - Mit einer Prüfsumme kann jeder den Ciphertext auf Fehler überprüfen.
- Es ist keine Aussage über eine Verfälschung möglich
  - Die Prüfsumme kann jeder selber berechnen
  - Bei einem verschlüsselten Ciphertext ist nicht bekannt, woher der Ciphertext stammt oder ob dieser authentisch ist.
- Es wird ein Mechanismus benötigt, dass die Prüfsumme nur mit Kenntnis eines Geheimnisse berechnet werden kann.



MESSAGE AUTHENTICATION CODES (MACS)

- **Message Authentication Code (MAC)** nutzen Hashfunktionen und symmetrische Verschlüsselungsverfahren zusammen mit symmetrischen Schlüsseln, um Integrität und Authentizität zu gewährleisten
  - Schnell, da symm. Verschlüsselung und Hashfunktionen genutzt werden
  - Unverbindlich, da der Schlüssel beiden Parteien bekannt ist

- Benötigte Eigenschaften eines MAC Verfahrens:
  - **Einwegeigenschaft**: Der Schlüssel darf nicht aus MAC und Nachricht bestimmbar sein
  - **Schwache Kollisionsresistenz**: Keine andere Nachricht mit gleichem Schlüssel und gleicher MAC darf effizient berechenbar sein



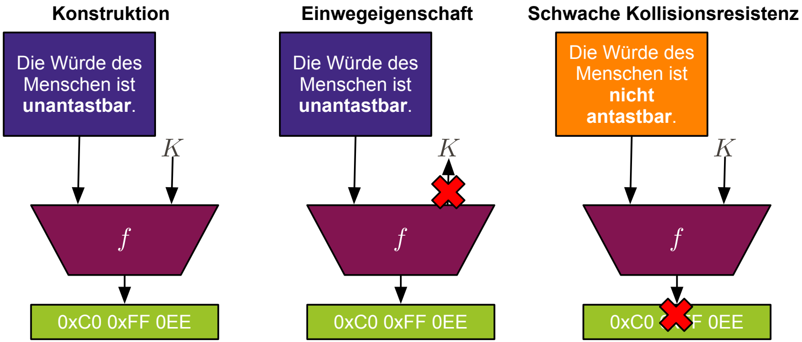
BEKANNTE MAC-ALGORITHMEN

→ Es existieren spezielle MAC-Konstruktionen, um ein MAC-Verfahren aus einer Hashfunktion oder einem symmetrischen Verschlüsselungsverfahren zu konstruieren

Verfahren	Schlüssellänge	Kommentar
Hash-based MAC (HMAC)	Blockgröße der Hashfunktion (z.B. 256-bit bei SHA2-256)	Gute Sicherheit, da starke Kollisionsresistenz, allerdings vergleichsweise langsam
Blockchiffre Modi GMAC und CMAC	Schlüssellänge der Blockchiffre (z.B. 128 bei AES-128)	In bestimmten Fällen geringe Kollisionsresistenz
Blockchiffre Modus GCM	Schlüssellänge der Blockchiffre (z.B. 128 bei AES-128)	In bestimmten Fällen geringe Kollisionsresistenz, bietet aber zusätzlich Verschlüsselung an

MESSAGE AUTHENTICATION CODES (MACS) SICHERHEIT HASHFUNKTIONEN

- → MACs via Hashfunktionen sind sicher, da:
  - → Einweg: Schlüssel kann nicht aus MAC und Nachricht berechnet werden
  - → Schwache Koll.: Andere Nachricht mit gleichem MAC und Schlüssel schwer findbar
  - → Je nach verwendeter Hashfunktion ist eine Maskierung der Digest notwendig



ANGRIFF GEGEN HMACS MIT VORANGESTELLTEM GEHEIMNIS

Alice	Mallory	Bob
		$x = (x_1, \dots, x_n)$
	abgefangen $\xleftarrow{(x,m)}$	$m = h(k\|\|x_1, \dots, x_n)$
	$x_0 = (x_1, \dots, x_n, x_{n+1})$	
$m' = h(k\|\|x_1, \dots, x_n, x_{n+1}) \xleftarrow{(x_0, m_0)}$	$m_0 = h(m\|\|x_{n+1})$	

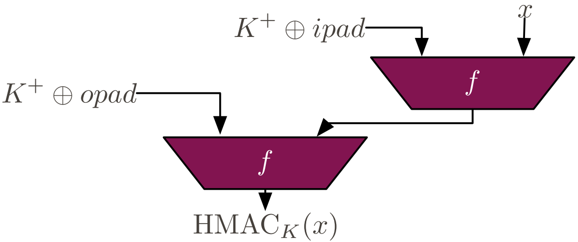
Valide MAC, da $m' = m_0$

HASH-BASED MAC

→ Die [HMAC] Konstruktion sollte immer eine Padding-Mask nutzen, um die Hashfunktion $f(x)$ in einen HMAC zu wandeln: $HMAC_K(x) = h[(K^+ \oplus opad)|h[(K^+ \oplus ipad)|x]]$

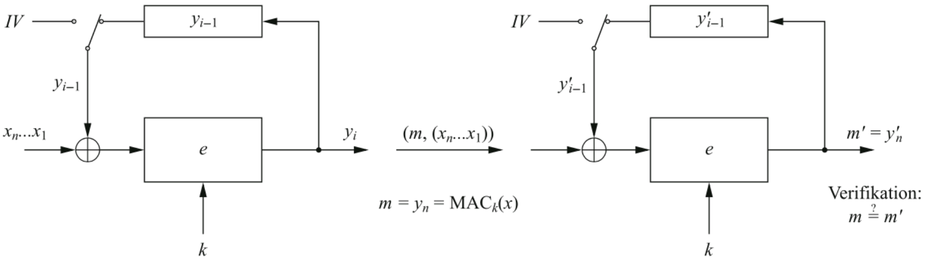
→ Konstanten $ipad$ und $opad$ werden als Padding-Masken genutzt.

→ K wird auf die Blockgröße des Hash aufgefüllt und K^+ bezeichnet



MESSAGE AUTHENTICATION CODES (MACS) SICHERHEIT SYM. VERSCHLÜSSELUNG

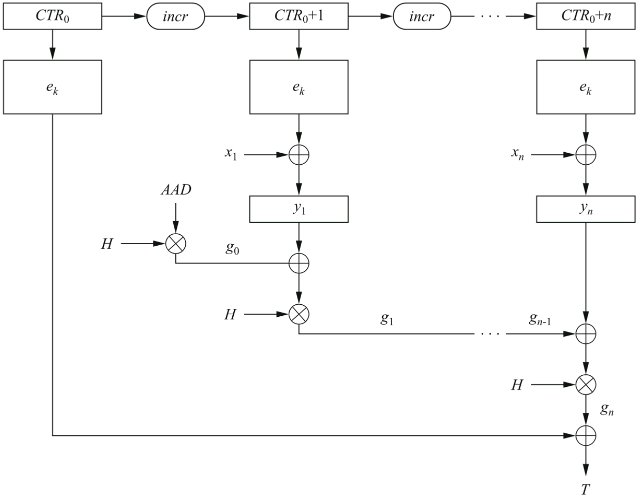
- MACs via symmetrischer Verschlüsselungsverfahren sind sicher, da:
  - **Einweg**: Schlüssel kann nicht aus Plaintext $P = x_1, \ldots, x_n$ und Ciphertext $C = m$ berechnet werden
  - **Schwache Koll.**: Jeder Plaintext P wird in einen zufälligen und eindeutigen Ciphertext C unter fixem Schlüssel k verschlüsselt.



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

BLOCKCHIFFRE BETRIEBSMODI GALOIS COUNTER MODE (GCM)

- Konstruktion um Blockchiffre in MAC-Verfahren umzuwandeln
- Mulitplikationskonstante $H = ENC_k(0)$
- ADD zusätzliche Authentisierungsdaten
- T ist der Authentisierungstoken, der als MAC genutzt werden kann.



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

DISKUSSION IN KLEINEN GRUPPEN

Sind MACS uneingeschränkt vertrauenswürdig?

Einen Gruppe von Freunden hat einen symmetrischen Schlüssel miteinander getauscht, um sich gegenseitig via AES-GCM sichere und vertrauenswürdige Nachrichten zu schicken. Was für ein Problem könnte in diesem Setting entstehen?

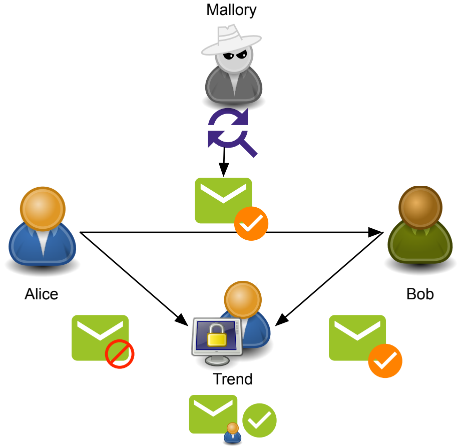
Verbindlichkeit

Überlegen Sie sich einen Fall, in dem das oben identifizierte Problem zum Tragen kommen kann.

INTEGRITÄT, AUTHENTIZITÄT UND VERBINDLICHKEIT

→ **Bedrohung:**
  → Integrität: Mallory ändert die Nachricht
  → Authentizität: Mallory fälscht eine Nachricht und gibt sich als Alice aus
  → **Nicht-Abstreitbarkeit**: Alice bestreitet eine Nachricht an Bob gesendet zu haben

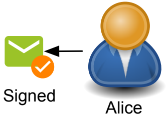
→ **Ziele:**
  → Integrität: Bob kann prüfen, ob die Nachricht verändert wurde
  → Authentizität: Bob kann prüfen, ob die Nachricht von Alice stammt
  → **Nicht-Abstreitbarkeit**: Bob kann gegenüber einer vertrauenswürdigen, dritten Instanz nachweisen, dass eine Nachricht von Alice stammt



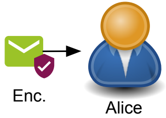
DIGITALE SIGNATUREN

→ Digitales Pendant zur handgeschriebenen Unterschrift
  → Zu einer öffentlichen Nachricht m soll es eine digitale Signatur sig geben

→ Anforderungen an ein digitales Signaturverfahren:
  1. Jeder muss die Signatur von sig zu m verifizieren können
  2. Nur Alice darf eine gültige Signatur sig zur Nachricht m erzeugen

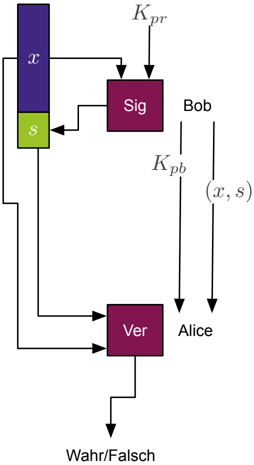


→ Vergleich mit Anforderungen bei Verschlüsselung mit asymmetrischer Kryptogtaphie:
  1. Jeder darf eine Nachricht an Alice verschlüsseln können
  2. Nur Alice darf den Ciphertext entschlüsseln können



GENERELLER ABLAUF

- Bob erstellt als erstes ein Private-Public-Schlüsselpaar (K_{pr} und K_{pb})
  - K_{pr} wird benötigt, um die Signatur zu erzeugen
  - K_{pb} wird an Alice geschickt, damit sie die Signatur verifizieren kann
- Signieren der Nachricht m:
  - Über einenEinweg- oder Falltür-Funktion($F_{trap}(\cdot)$) wird s erzeugt: $F_{trap}(K_{Pr}, m) \rightarrow S$
  - **Die Falltür Funktion ist im allg. keine Verschlüsselung!** $F_{trap}(K_{Pr}, m) \rightarrow s \neq ENC_{K_{pr},m} \rightarrow s$
- Verfifikation der Signatur s:
  - Mit einer Verifikationsfunktion wird mit Hilfe von K_{pb} und m geprüft, ob s valide ist



ALICE SENDET VIA RSA SIGNIERTE NACHRICHT AN BOB

Alice		Bob
$K_{pb} = (N, e)$ und $K_{pr} = d$	Kanal1: Sende $K_{pb} = (N, e)$ $\longrightarrow$	
Signiere $s = m^d \mod N$	Kanal2: (m, s) $\longrightarrow$	Berechne $m' = s^e \mod N$ Verfizier ob $m = m'$

Signaturprüfung funktioniert, da $s^e \mod N = m^{ed} \mod N = m$

- → Jede Partei darf $K_{pb} = (N, e)$ kennen und Signaturen prüfen
- → Nur Alice kennt $K_{pr} = (s)$ und kann somit Nachrichten signieren

RECAP: BOB SENDET VIA RSA VERSCHLÜSSELTE NACHRICHT AN ALICE

Alice		Bob
$K_{pb} = (N, e)$ und $K_{pr} = d$	Kanal1: Sende $K_{pb} = (N, e)$ $\longrightarrow$	
Entschlüssele $P = C^d \mod N$	Kanal2: (C) $\longleftarrow$	Verschlüssel $C = P^e \mod N$ Verfizier ob $m = m'$

Entschlüsselung funktioniert genauso wie bei der Signatur nur

- → Sonderfall für Schulbuch RSA Entschlüsselung entspricht der Signierfunktion!
- → Es ist sehr gefährlich, einfach Schulbuch RSA zu benutzen!

EXISTENZIELLE FÄLSCHUNG

Alice	Mallory	Bob
	$\xleftarrow{(N,e)}$	$\xleftarrow{(N,e)} K_{pr} = (d), K_{pb} = N, e$
	1. Wähle Signatur: $s \in \mathbb{Z}_N$	
	2. Berechne die Nachricht:	
	$\xleftarrow{(x,s)} m \equiv s^e \mod N$	

Verifikation:

$m' \equiv s^e \mod N = m$

Signatur ist valide!

→ Probalisitsche Signaturverfahren verhindern diesen Angriff.

→ Das **RSA-EMSA-PSS** Schema für Signaturen sollte im Fall von RSA genutzt werden

DIGITALE SIGNATURVERFAHREN IN DER PRAXIS

- → Weitere Verfahren zur Signaturberechnung existieren:
  - → Digital Signature Algorithm (DSA)
  - → Elliptic Curve DSA (ECDSA)
  - → Elgamal Signatur
  - → Merkle Signatur

- → Für Verbindlichkeit müssen weitere Informationen an den öffentlichen Schlüssel gebunden werden (⇒**Zertifikate** und **PKI** im Kapitel Protokolle)

DIGITAL SIGNATURE ALGORITHM (DSA) ENTSTEHUNG UND VERWENDUNG

- Digital Signature Algorithm (DSA) wurde 1994 standardisiert [DSA]
  - Von der Benutzung von DSA wird mittlerweile abgeraten!

- Die Sicherheit von DSA beruht auf dem diskreten Logarithmen Problem

DSA Algorithmus	Input	Output	Durchgeführt von
Parametergenerierung	-	Parameter (p, q, g)	Vertrauenswürdige Partei
Schlüsselgenerierung	(p, q, g)	Schlüssel $K_{pb} = y, K_{pr} = x$	Alice (Sender*in)
Signieren	$(p, q, g), x, m$	Signatur (r, s) zu M	Alice (Sender*in)
Signieren	$(p, q, g), x, m, (r, s)$	Wurde (r, s) für M von Besitzer*in von K_{pb} erzeugt?	Bob (Empfänger*in)

DIGITAL SIGNATURE ALGORITHM (DSA) SCHLÜSSELGENERIERUNG

Alice		Bob
	Parametergenerierung (öffentlich) Wähle eine Primzahl p Wähle eine Primzahl q die $p-1$ teilt Berechne $g \equiv h^{(p-1)/q} \mod p$ für ein zufälliges h	
Schlüsselgenerierung	$\xleftarrow{(p,q,g)}$	$\xrightarrow{(p,q,g)}$
Wähle x mit $1 \leq x \leq q$ Berechne $y \equiv g^x \mod p$ Setze $K_{pb} = y$ und $K_{pr} = x$		
	$\xrightarrow{(K_{pb}) = y}$	

DIGITAL SIGNATURE ALGORITHM (DSA) SIGNIEREN UND VERIFIZIEREN

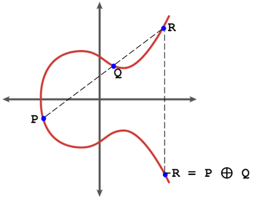
Alice		Bob
Wähle k mit $1 \leq k \leq q$		
Berechne: $r \equiv (g^k \mod p) \mod q \neq 0$		
Berechne: $s \equiv (k^{-1} \cdot (m + r \cdot x)) \mod p) \neq 0$		
	$\xrightarrow{m,(r,s)}$	
		Berechne $w \equiv s^{-1} \mod q$
		Berechne $u_1 \equiv m \cdot w \mod q$
		Berechne $u_2 \equiv r \cdot w \mod q$
		Berechne $v \equiv (g^{u_1} \cdot y^{u_2} \mod p) \mod q$
		Falls $v = r \rightarrow$ valide

ASYMMETRISCHE VERSCHLÜSSELUNG ELLIPTISCHE KURVEN (1/2)

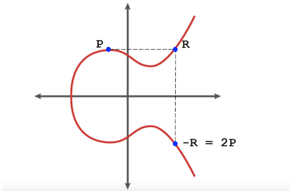
- → Eine Alternative zu primen Restklassenringen sind **elliptische Kurven (ECC)**
  - → **Elliptische Kurve**: Menge an Punkten die eine Gleichung erfüllen, z.B.: $y^2 = x^3 + ax + b$

- → Seien A, P zwei Punkte auf einer Kurve mit $a \cdot P = A$
  - → **Einfach**: Aus P und a den Punkt A zu berechnen ($A = a \cdot P$)
  - → **Schwer**: Aus P und A den Wert a zu berechnen ($a = P/A$)

Punktaddition Kurve $y^2 = x^3 + ax + b$



Punktmultiplikation Kurve $y^2 = x^3 + ax + b$



Quelle: https://blog.intothesymmetry.com/2019/07/on-isogenies-verifiable-delay-functions.html

ASYMMETRISCHE VERSCHLÜSSELUNG ELLIPTISCHE KURVEN (2/2)

→ Elliptische Kurven können in Verfahren genutzt werden, die auf dem diskreten Logarithmusproblem basieren

→ Vorteil von elliptischen Kurven ist, dass die Kurven kleinere Bit-Werte besitzen

Bitlänge sym. Schlüssel	Bitlänge Primzahl	Bitlänge ECC	Ratio Bitlänge Primzahl / ECC
80	1024	160	6,4
128	3072	256	12
256	15360	512	30

ECDSA SCHLÜSSELGENERIERUNG

Alice		Bob
	Parametergenerierung (öfftl.) Wähle eine eine Kurve: $E(p, a, b, q, A)$	
Schülsselgenerierung Wähle einen Zufallswert d mit $0 < d < q$ Berechne $B = dA$ Setze $K_{pb} = (p, a, b, q, A, B)$ und $K_{pr} = d$	$\xleftarrow{E(p, a, b, q, A)}$	$\xrightarrow{E(p, a, b, q, A)}$
	$\xrightarrow{(K_{pb}) = (p, a, b, q, A, B)}$	

ECDSA SIGNIEREN UND VERIFIZIEREN

Alice	Bob
Wähle emphermal k_E mit $0 \leq k_E \leq q$	
Berechne: $R = k_E A$	
Setze: $r = x_R$	
Berechne: $s \equiv (h(x) + d \cdot r)k_E^{-1} \mod q \xrightarrow{(x,r,s)}$	
	Berechne $w \equiv s^{-1} \mod q$
	Berechne $u_1 \equiv w \cdot h(x)w \mod q$
	Berechne $u_2 = r \cdot w \mod q$
	Berechne $P = u_1 A + u_2 B$
	Falls $x_P \equiv q \rightarrow$ valdie

ANGRIFFE AUF SIGNATURVERFAHREN

- Die Sicherheit von ECDSA hängt stark vom Zufallswert K ab:
  - Falls k bekannt wird, kann $K_{pr} = x$ berechnet werden
  - Falls k wiederverwendet wird, kann $K_{pr} = x$ berechnet werden [PS3]
- Bei ECDSA müssen bestimmte Signaturen abgefangen werden (z.B. $s = 0$ [Orac])
- RSA Verschlüsselung und Signaturen niemals mit dem gleichen Schlüsselpaar!
  - Verschlüsselte Nachricht könnte entschlüsselt werden via Anfrage zur Signatur
  - Unbeabsichtigte Signatur könnte erzeugt werden via Anfrage zur Entschlüsselung
- RSA benötigt Paddingverfahren (z.B. RSA-PSS) zur sicheren Signaturerzeugung

ASYMMETRISCHE SIGNATURVERFAHREN

- Direktes Signieren und Verifizieren von großen Nachrichten ist sehr ineffizient
  - Signieren: $s = k^{-1} \cdot (M + r \cdot r) \mod q$
  - Verifizieren: $u_1 = M \cdot w \mod q$

- Analog zur hybrider Verschlüsselung: Große Nachricht mit Hilfsfunktion in einen kleinen, eindeutigen Fingerabdruck umwandeln, der dann signiert wird

- Anforderung an Hilfsfunktion und Fingerabdruck
  - Jede Person sollte die Hilfsfunktion berechnen können
  - Es sollte nicht möglich sein, vom Fingerabdruck auf eine Nachricht zurückzurechnen

ZUSAMMENFASSUNG

- → MACs basierend auf Hashfunktionen und symmetrischer Verschlüsselung
- → Besprechung von verschiedenen MAC Verfahren
- → Unterschiede zwischen MACs und digitalen Signaturen
- → Korrekter Einsatz von MACs oder digitalen Signaturen beurteilen
- → Sicherheitsgarantien der Digitalen Signaturen
- → Beziehung zwischen dem RSA Verschlüsselungs- und Signaturverfahren
- → Existierende Digitale Signaturverfahren
- → Elliptischen Kurven gegenüber primen Restklassenringen