Breaking Ed25519 in WolfSSL

Luis Kress, Johannes Hausmann

Technische Hochschule Bingen

30-01-2020

Digitale Signatur und Verschlüsselung I

- Pendant der schriftlichen Signatur
- Dokument $\rightarrow$ Erklärung, Vereinbarung
- Nachweis
  - Inhalt des Dokument (Unterzeichner)
  - Verifikation (Empfänger)
- Signatur ausschließlich durch Unterzeichner
- Verifikation soll jedem möglich sein

siehe (Hühnlein and Korte 2006)

Digitale Signatur und Verschlüsselung II

1. Eine digitale Signatur ist ein String, welcher eine Nachricht mit einer Entität verbindet
2. Algorithmus zur Signaturerzeugung
3. Algorithmus zur Signaturverifikation
4. Signatur Schema (signature scheme) $\rightarrow$ Erzeugung & Verifikation
5. Signaturprozess $\rightarrow$ Formatierung der Daten in signierbare Nachrichten
6. Verfikationsprozess
   siehe Katz et al. (1996)

Digitale Signatur und Verschlüsselung III

- Realisierung durch asymetrische Kryptoalgorithmen
- Message
- K_{Priv} , K_{Pub}
- Einwegfunktion

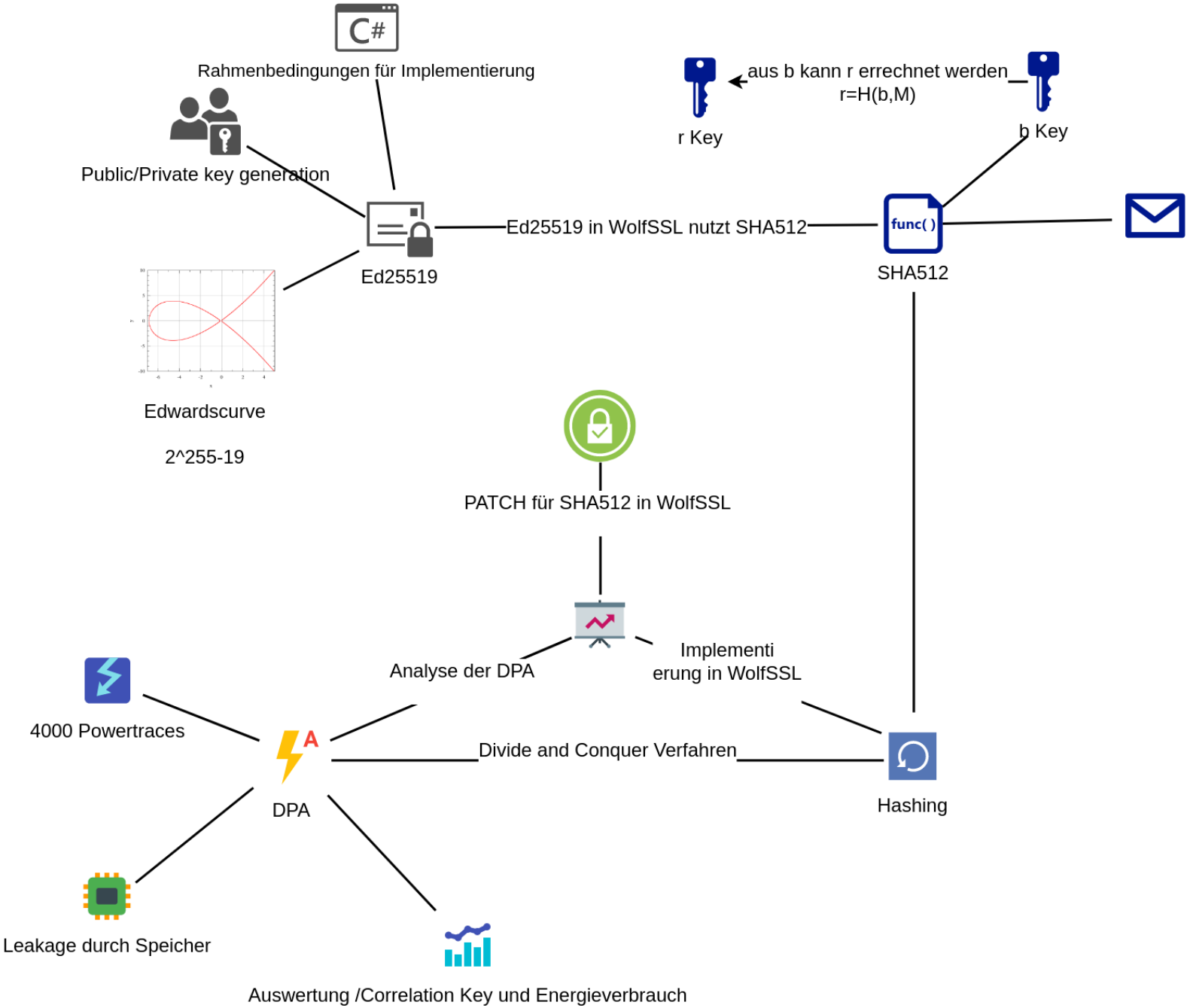
$$f(K\ Priv\ ) = K\ Pub$$

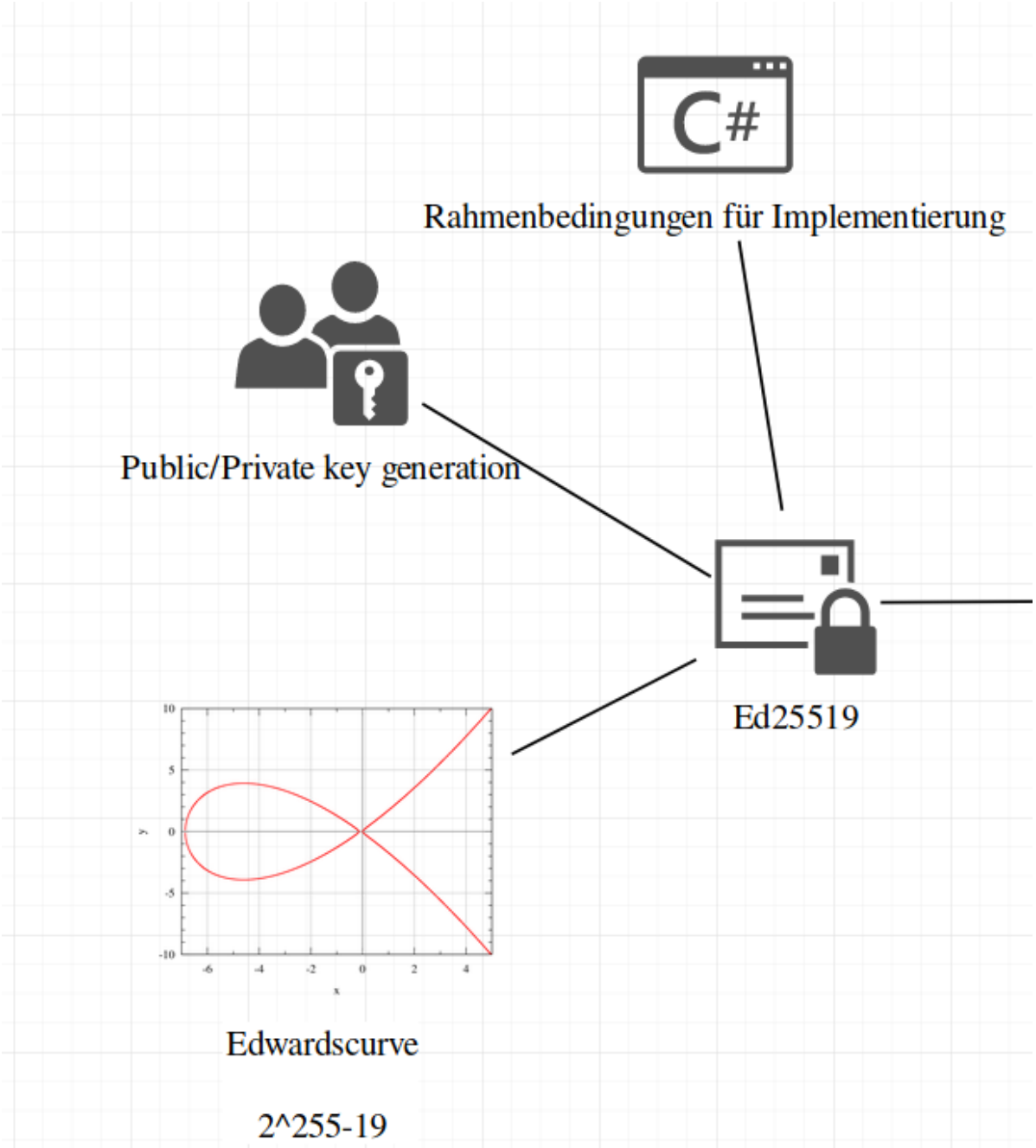
- inverse Funktionen
  - Signatur (Message, K_{Priv})
  - Verifikation (Message, Signatur, K_{Pub})
- K_{Pub} in öffentlichem Verzeichnis
  siehe (Hühnlein and Korte 2006)

Beispiel für Verwendung von Digitale Signaturen

- SSL Zertifikat (CA)
- Software Installation auf Linux / BSD Systemen
- Elektronische Steuerklärung

```
RPM-GPG-KEY-fedora-21-s390x       RPM-GPG-KEY-fedora-iot-armhfp
RPM-GPG-KEY-fedora-21-secondary   RPM-GPG-KEY-fedora-iot-i386
RPM-GPG-KEY-fedora-21-x86_64      RPM-GPG-KEY-fedora-iot-ppc64le
RPM-GPG-KEY-fedora-22-aarch64     RPM-GPG-KEY-fedora-iot-s390x
RPM-GPG-KEY-fedora-22-armhfp      RPM-GPG-KEY-fedora-iot-x86_64
RPM-GPG-KEY-fedora-22-i386        RPM-GPG-KEY-fedora-modularity
RPM-GPG-KEY-fedora-22-ppc64       RPM-GPG-KEY-rpmfusion-free-fedora-30
RPM-GPG-KEY-fedora-22-ppc64le     RPM-GPG-KEY-rpmfusion-free-fedora-30-primary
RPM-GPG-KEY-fedora-22-primary     RPM-GPG-KEY-rpmfusion-free-fedora-31
RPM-GPG-KEY-fedora-22-s390        RPM-GPG-KEY-rpmfusion-free-fedora-31-primary
RPM-GPG-KEY-fedora-22-s390x       RPM-GPG-KEY-rpmfusion-free-fedora-32
RPM-GPG-KEY-fedora-22-secondary   RPM-GPG-KEY-rpmfusion-free-fedora-32-primary
RPM-GPG-KEY-fedora-22-x86_64      RPM-GPG-KEY-rpmfusion-free-fedora-latest
RPM-GPG-KEY-fedora-23-aarch64     RPM-GPG-KEY-rpmfusion-free-fedora-rawhide
RPM-GPG-KEY-fedora-23-armhfp      RPM-GPG-KEY-rpmfusion-nonfree-fedora-30
RPM-GPG-KEY-fedora-23-i386        RPM-GPG-KEY-rpmfusion-nonfree-fedora-30-primary
RPM-GPG-KEY-fedora-23-ppc64       RPM-GPG-KEY-rpmfusion-nonfree-fedora-31
RPM-GPG-KEY-fedora-23-ppc64le     RPM-GPG-KEY-rpmfusion-nonfree-fedora-31-primary
RPM-GPG-KEY-fedora-23-primary     RPM-GPG-KEY-rpmfusion-nonfree-fedora-32
RPM-GPG-KEY-fedora-23-s390        RPM-GPG-KEY-rpmfusion-nonfree-fedora-32-primary
RPM-GPG-KEY-fedora-23-s390x       RPM-GPG-KEY-rpmfusion-nonfree-fedora-latest
RPM-GPG-KEY-fedora-23-secondary   RPM-GPG-KEY-rpmfusion-nonfree-fedora-rawhide
RPM-GPG-KEY-fedora-23-x86_64      RPM-GPG-KEY-zfsonlinux
```


Rahmenbedingungen für Implementierung
Public/Private key generation
aus b kann r errechnet werden
r=H(b,M)
r Key
b Key
Ed25519 in WolfSSL nutzt SHA512
Ed25519
SHA512
func( )
Edwardscurve
2^255-19
PATCH für SHA512 in WolfSSL
Analyse der DPA
Implementierung in WolfSSL
4000 Powertraces
Divide and Conquer Verfahren
DPA
Hashing
Leakage durch Speicher
Auswertung /Correlation Key und Energieverbrauch


C#
Rahmenbedingungen für Implementierung
Public/Private key generation
Ed25519
Edwardscurve
2^255-19

ECDSA & Ed25519

- Signaturverfahren basierend auf Eliptic Curve Cryptography (ECC)
  - Basis ist eine Punktruppe einer Elliptischen Kurve
- ECDSA ist verbereitet
  - EdDSA (Edwardscurve)
  - Ed25519 (Edwardscurve 25519)
- 160bit ECC Schlüssel = 1200bit RSA Schlüssel
  - Speicherverbrauch, Energieverbrauch (IoT)

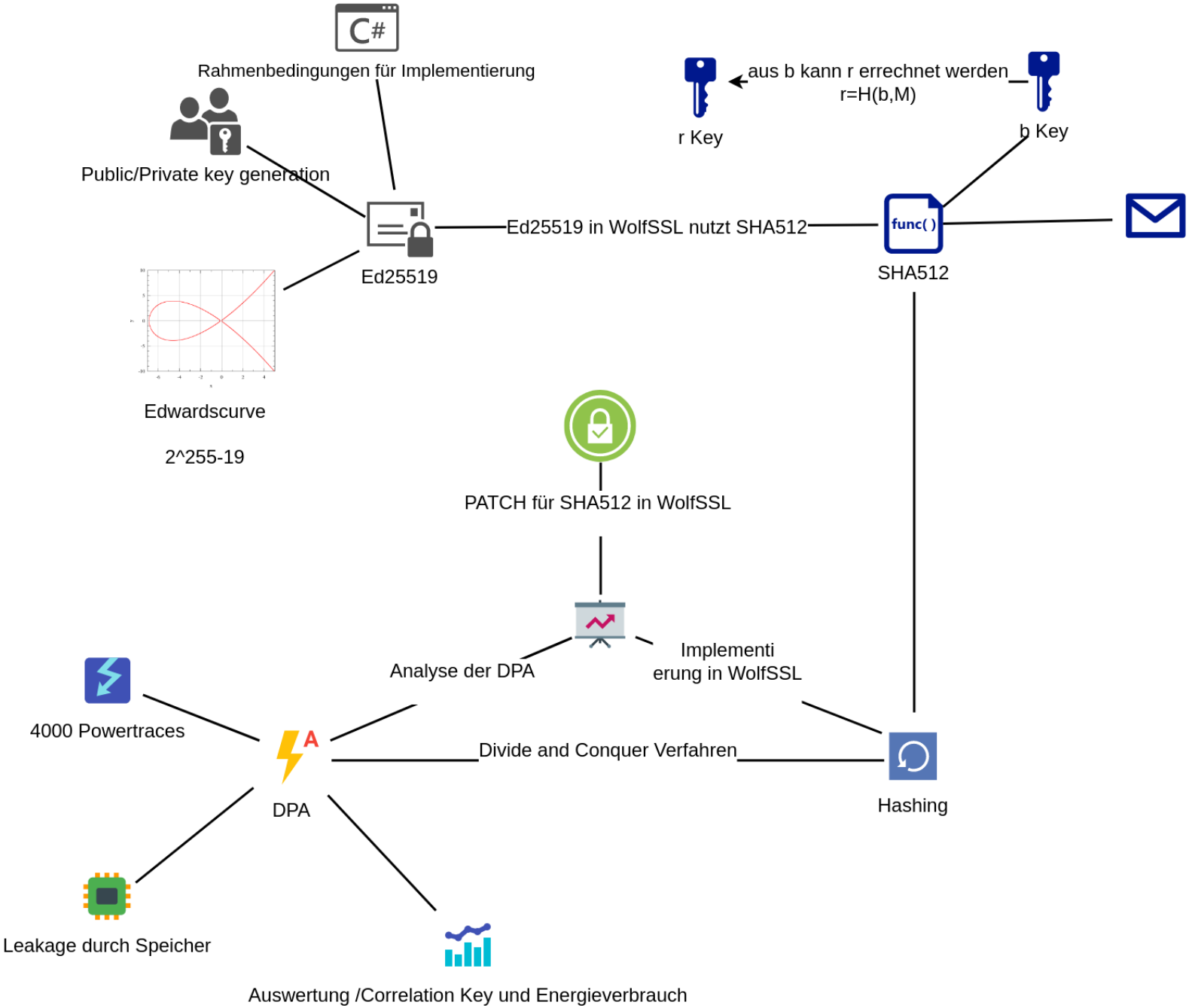
siehe (Hühnlein and Korte 2006; Susella 2018)

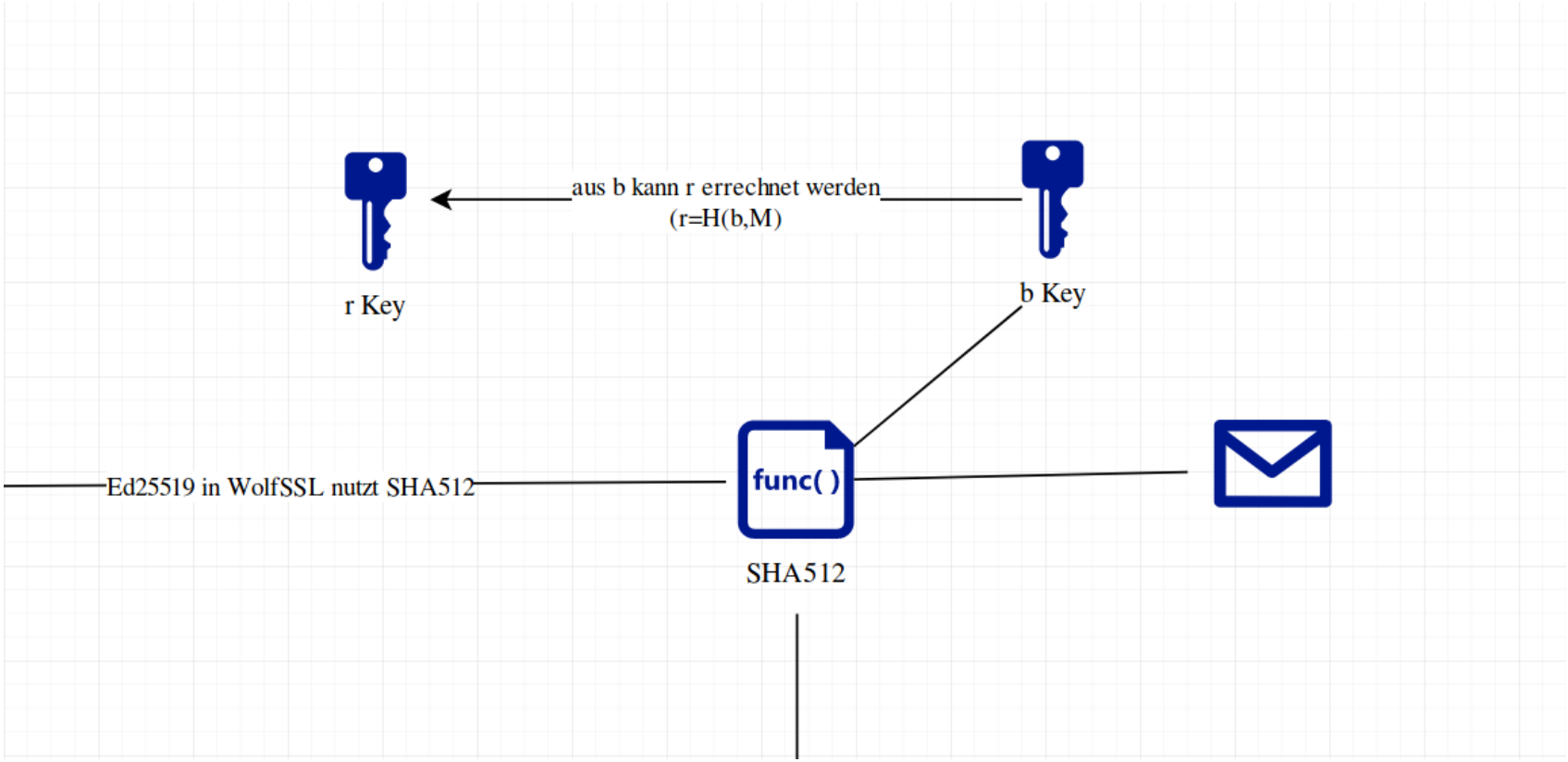
ECDSA & Ed25519

- Verwendung (Susella 2018)
  - OpenSSH
  - WolfSSL / OpenSSL / LibreSSL / GnuTLS
  - Tor Protokoll
  - DNS Protokolle
  - Signal Messenger Protokoll

Ed25519 Funktionsweise

Tafelbild


C#
Rahmenbedingungen für Implementierung
aus b kann r errechnet werden
r=H(b,M)
r Key
b Key
Public/Private key generation
Ed25519 in WolfSSL nutzt SHA512
func( )
Ed25519
SHA512
Edwardscurve
2^255-19
PATCH für SHA512 in WolfSSL
Analyse der DPA
Implementi
erung in WolfSSL
4000 Powertraces
A
Divide and Conquer Verfahren
DPA
Hashing
Leakage durch Speicher
Auswertung /Correlation Key und Energieverbrauch


aus b kann r errechnet werden
(r=H(b,M)
r Key
b Key
Ed25519 in WolfSSL nutzt SHA512
func( )
SHA512

Secure Hash “SHA512”

- Ed25519 nutzt SHA512
  - Merkle–Damgård Konstruktion
    - Erweiterung um Davies-Meyer
  - SHA-2 Familie (SHA256,SHA512) $\rightarrow$ Bitlänge des Hash
- Auxiliary Schlüssel b

`Message M (Länge n) → SHA512 Funktion → 512 Bit Ausgabe`

(Susella 2018)

Secure Hash “SHA512” II

Algorithm 3. Merkle Damgård

Input: Message M with $0 \leq$ bit-length $< 2^{128}$
Output: Hash value of M

1: Pad message M by appending an encoding of the message length
2: Initialize chaining value CV with constant IV
3: Split padded message M into blocks
4: **for all** blocks M_i **do**
5: $\quad \mathrm{CV}_{i+1} \leftarrow \mathrm{CF}(\mathrm{CV}_i, M_i)$
6: **end for**
7: **return** H $\leftarrow$ CV

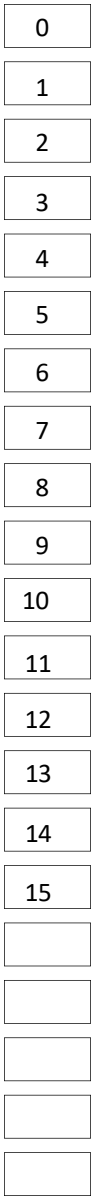
Secure Hash “SHA512” III

- Ausgabe 512 Bit
- Größe des internen Status 512 Bit
- Message expansion auf 80 schedulde words
  - Messageblock 1024 Bit
    - 16 Wörter
    - Wortgröße von 64 Bit
- 80 mal Rundenfunktion auf schedule words
- Operationen auf Status

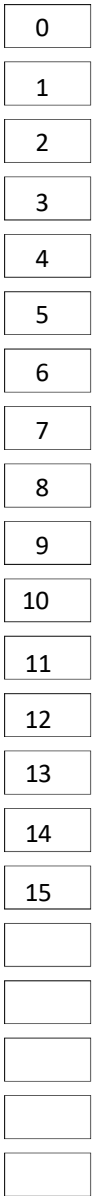
(Susella 2018)

Übergabewerte für SHA512

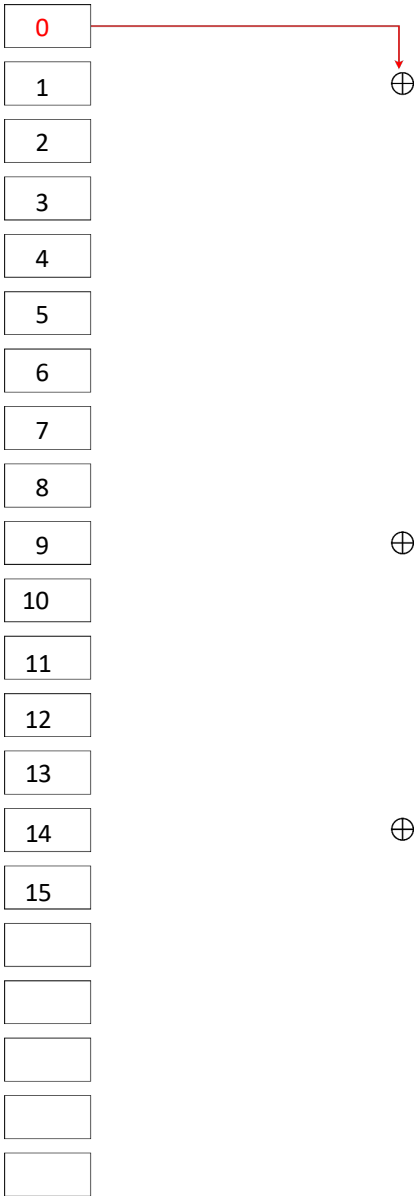
- Wörter 0-3 = Private Key (256 Bit)
- Wörter 4-15 = Message



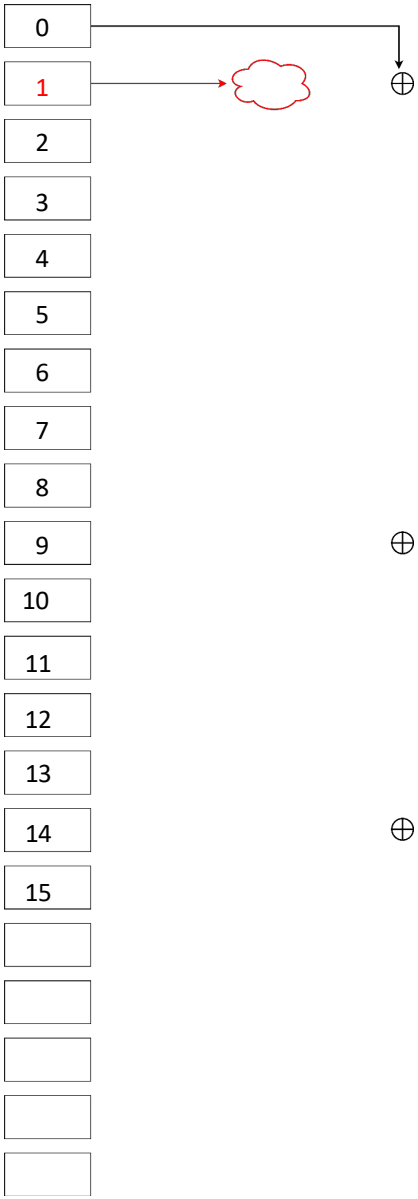
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



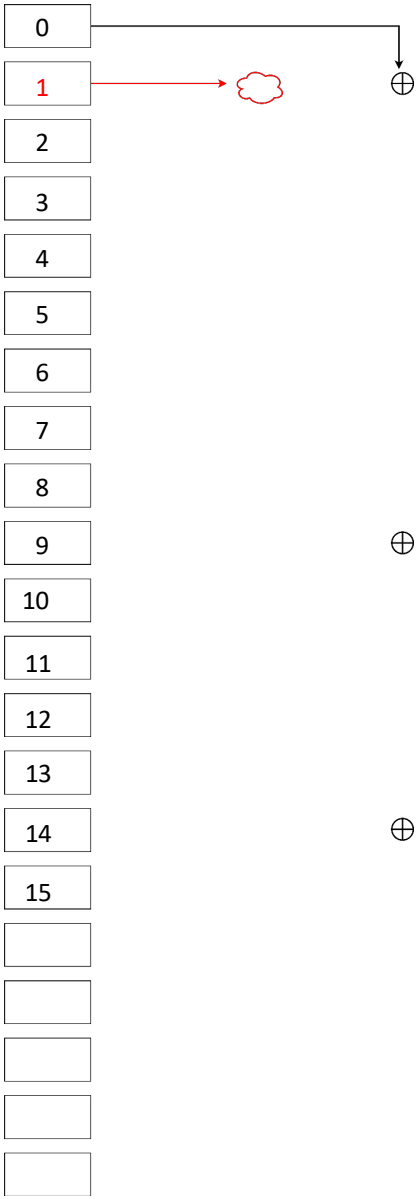
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



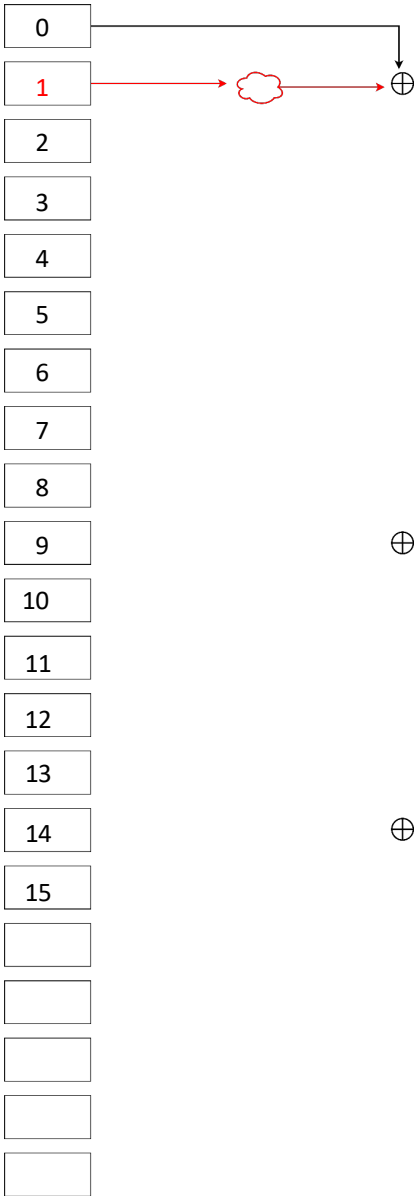
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



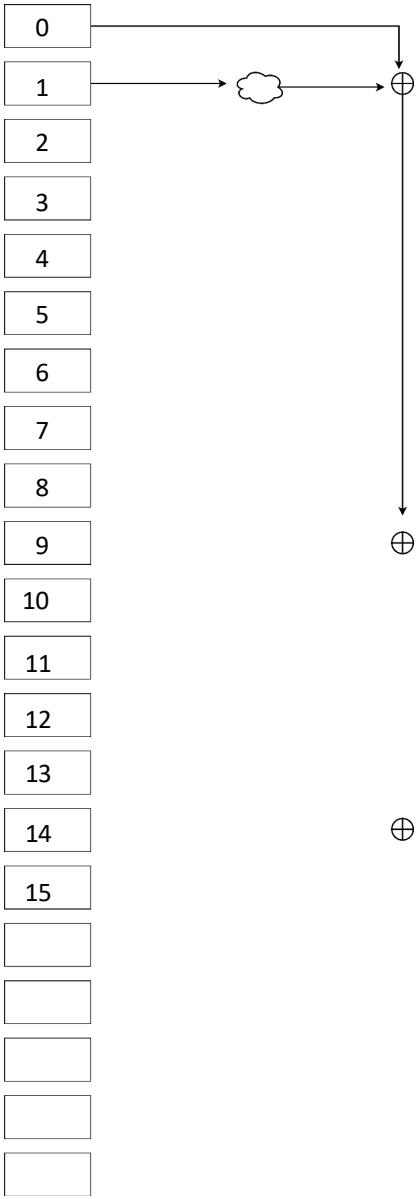
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



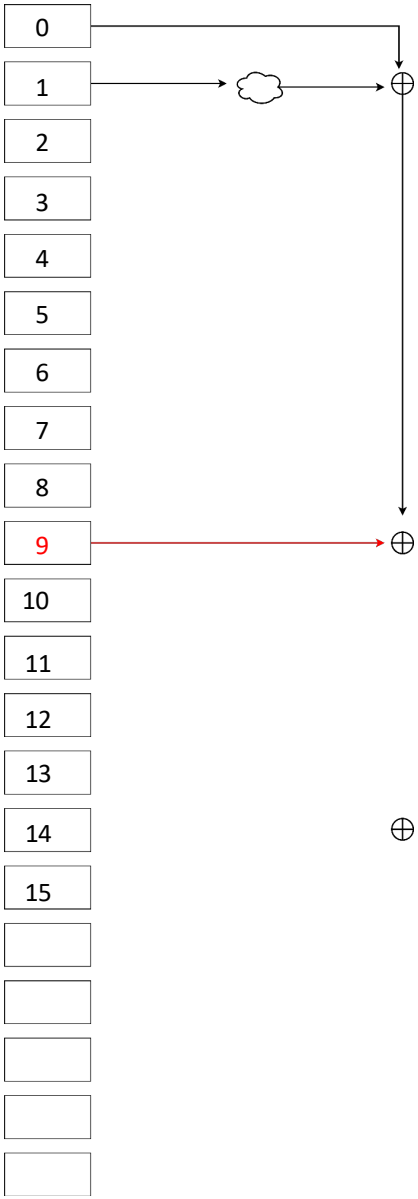
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



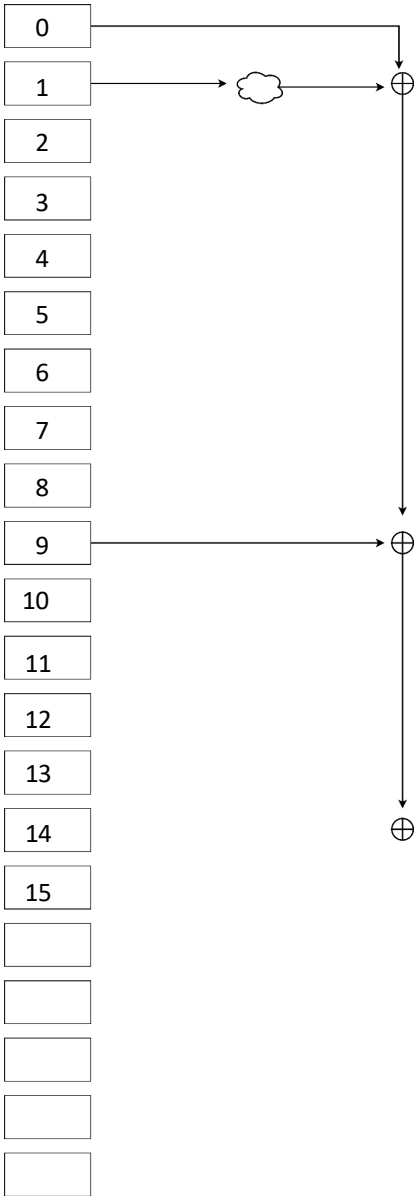
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



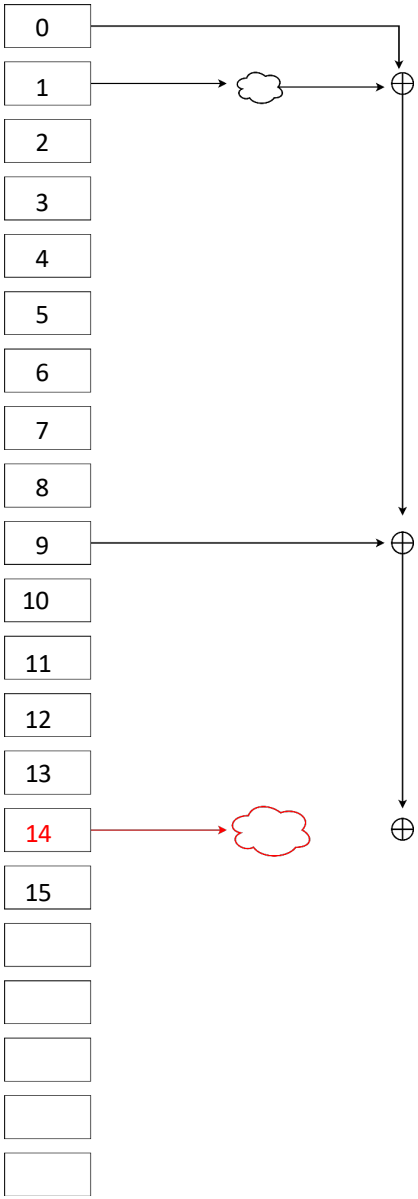
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



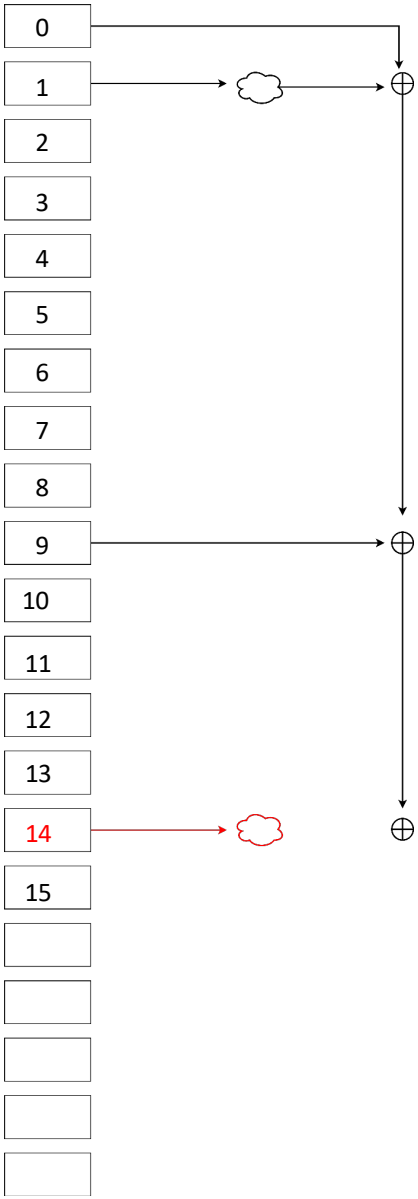
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



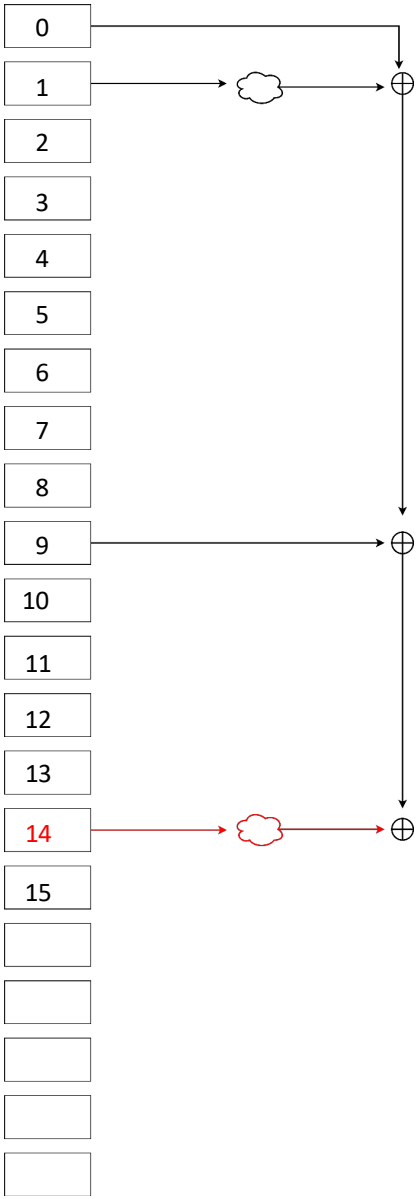
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



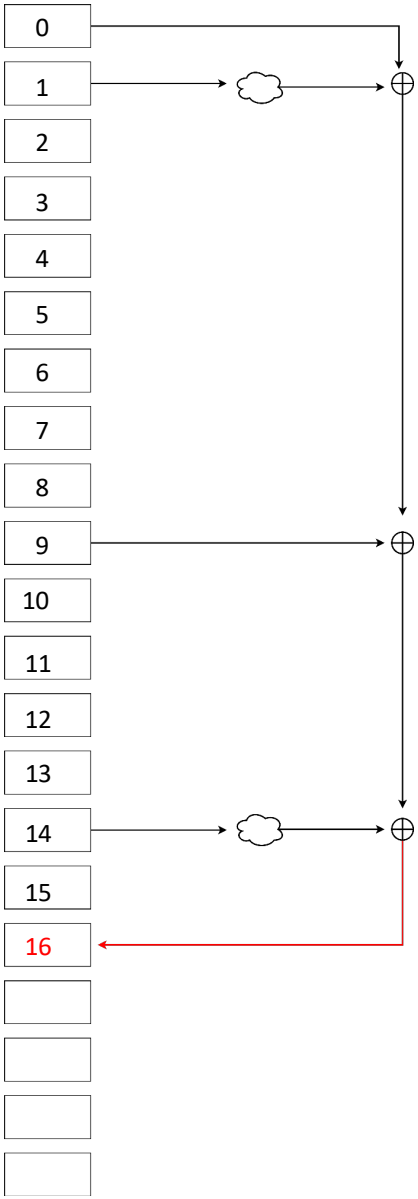
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



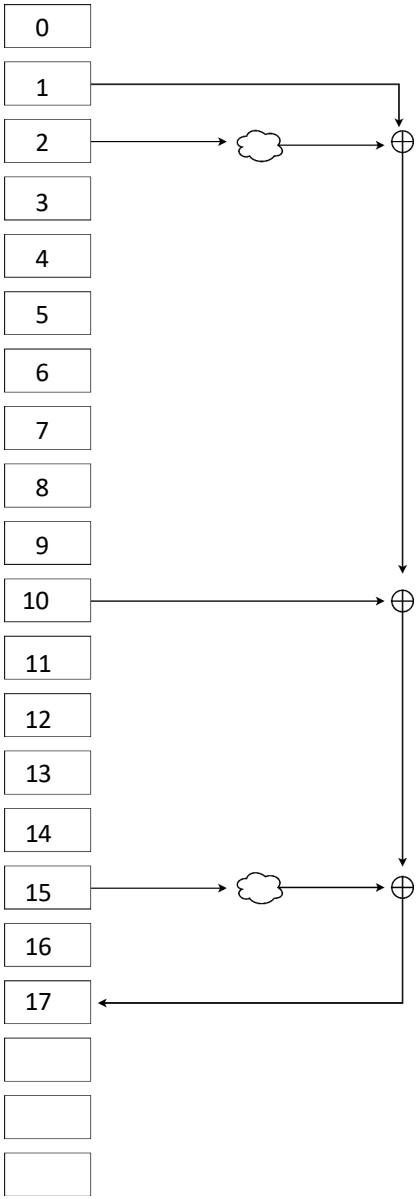
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



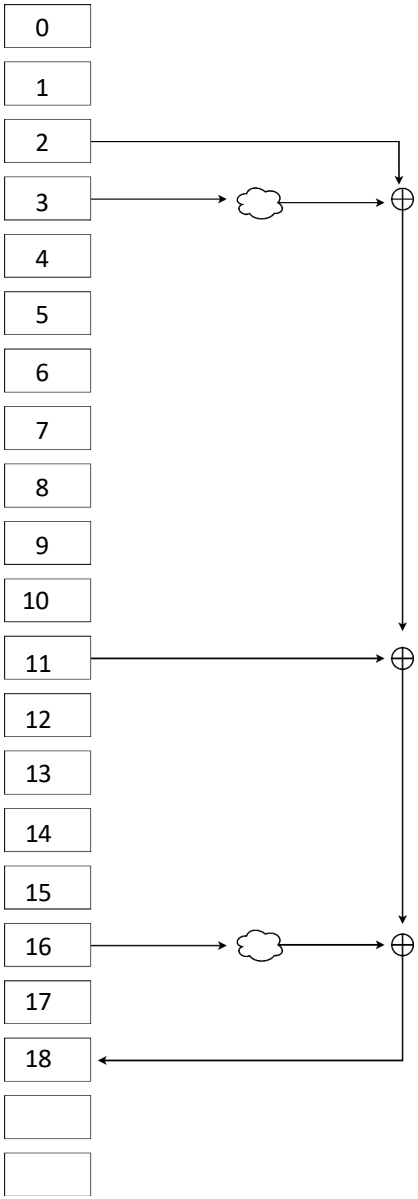
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



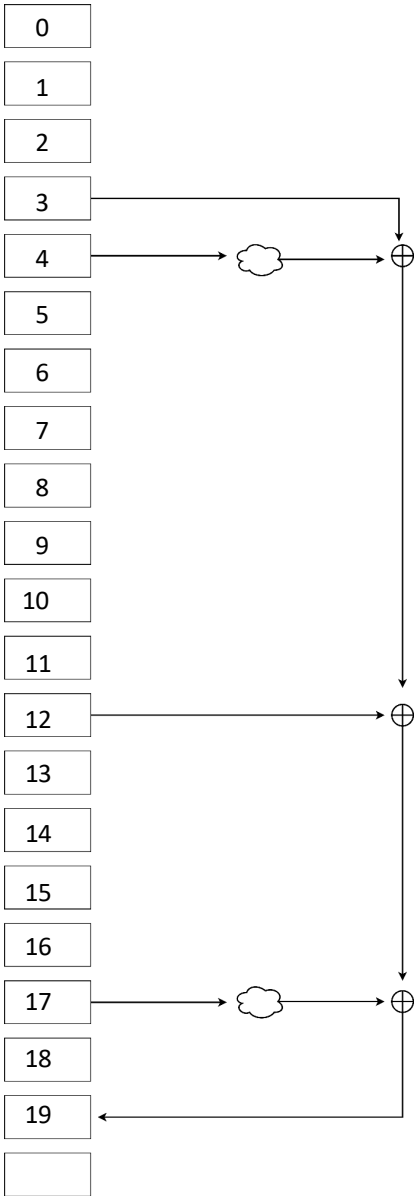
$$\omega[16] \leftarrow \sigma_1(\omega[14]) + \omega[9] + \sigma_1(\omega[1]) + \omega[0]$$



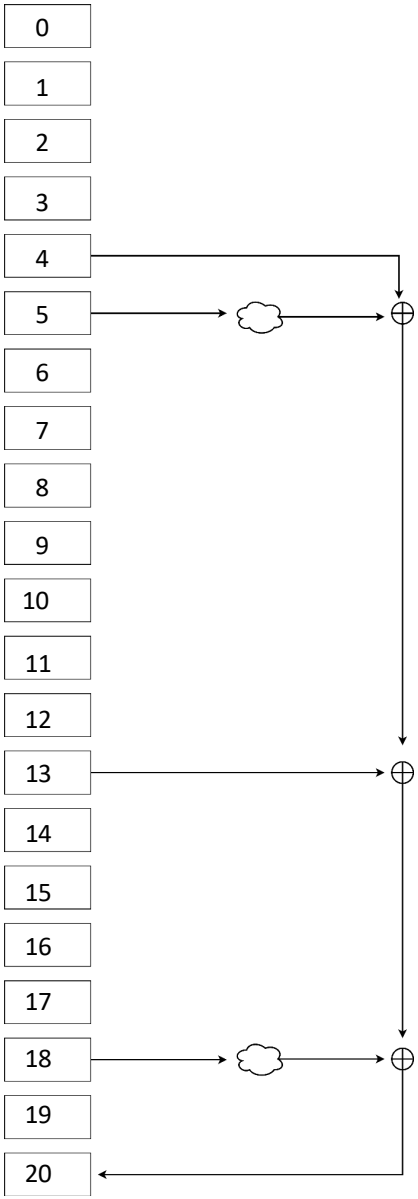
$$\omega[17] \leftarrow \sigma_1(\omega[15]) + \omega[10] + \sigma_1(\omega[2]) + \omega[1]$$



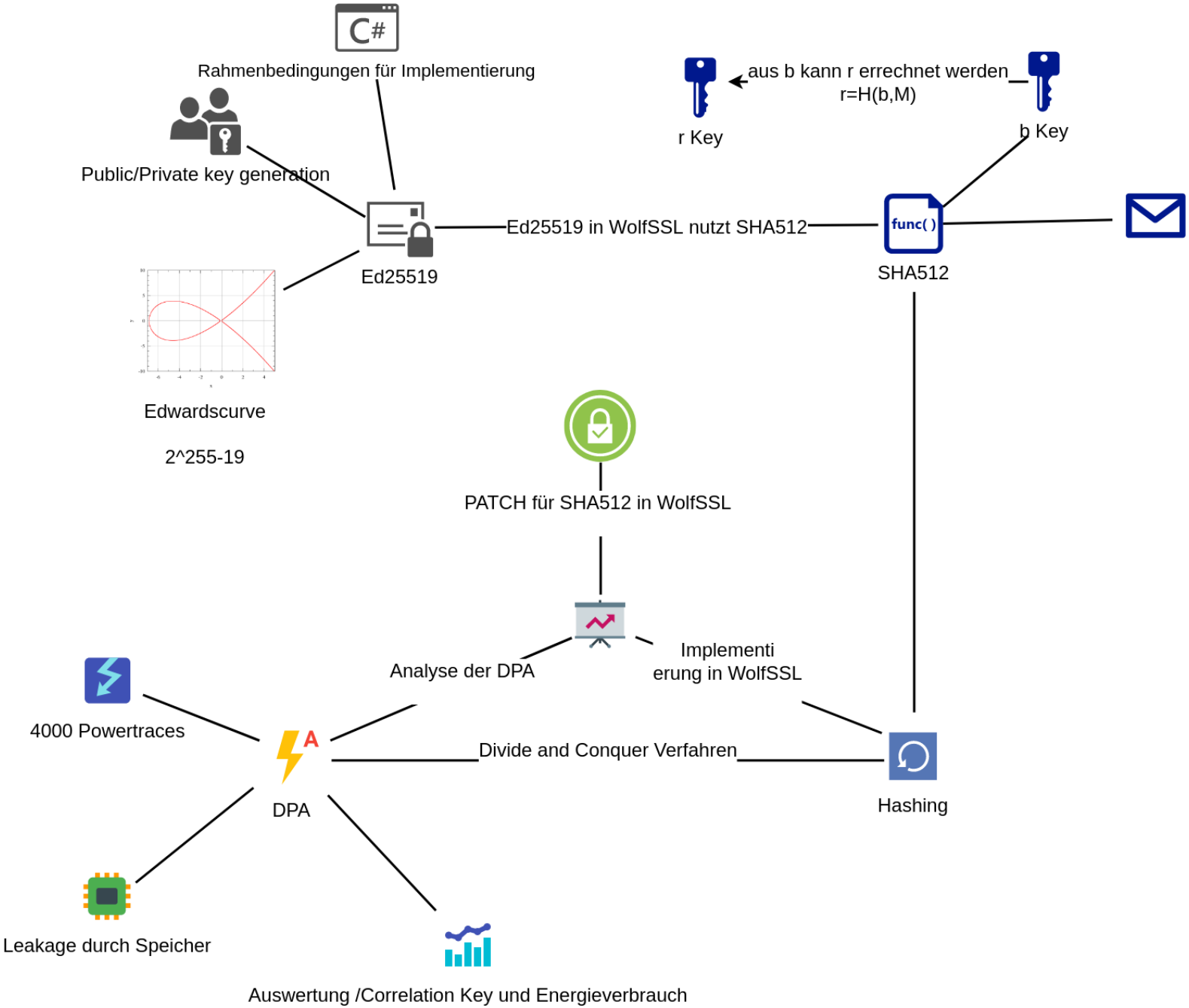
$$\omega[18] \leftarrow \sigma_1(\omega[16]) + \omega[11] + \sigma_1(\omega[3]) + \omega[2]$$

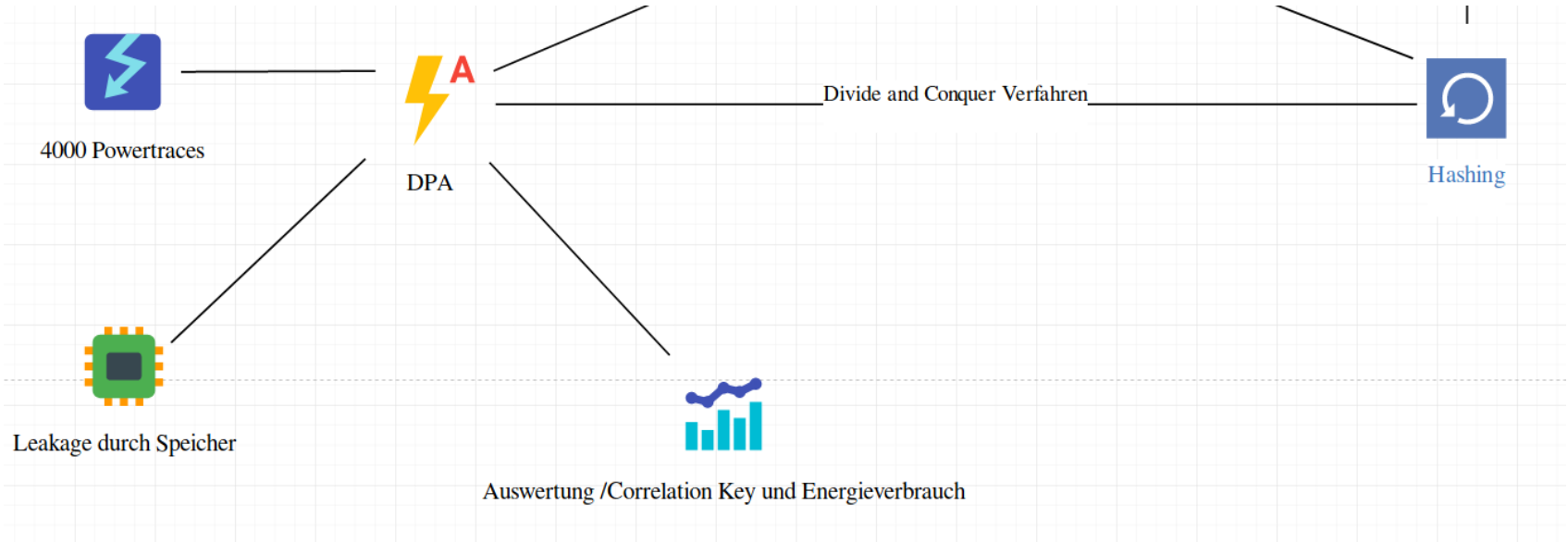


$$\omega[19] \leftarrow \sigma_1(\omega[17]) + \omega[12] + \sigma_1(\omega[4]) + \omega[3]$$



$$\omega[20] \leftarrow \sigma_1(\omega[18]) + \omega[13] + \sigma_1(\omega[5]) + \omega[4]$$


Rahmenbedingungen für Implementierung
Public/Private key generation
aus b kann r errechnet werden
r=H(b,M)
r Key
b Key
Ed25519 in WolfSSL nutzt SHA512
Ed25519
SHA512
func( )
Edwardscurve
2^255-19
PATCH für SHA512 in WolfSSL
Analyse der DPA
Implementi
erung in WolfSSL
4000 Powertraces
Divide and Conquer Verfahren
DPA
Hashing
Leakage durch Speicher
Auswertung /Correlation Key und Energieverbrauch


4000 Powertraces
DPA
Divide and Conquer Verfahren
Hashing
Leakage durch Speicher
Auswertung /Correlation Key und Energieverbrauch

Angriff auf Ed25519

- **Key Recovery** Attacke
  - Energieverbrauch eines SOCs
- Angriff bei Berechnung des “flüchtigen” privaten Schlüssels
  - von Interesse ist Hilfschlüssel b
- Flüchtiger Schlüssel r bekannt
  - Scalar a, Hilfsschlüssel b $\rightarrow$ manipulierte Signaturen

Angriff auf Ed25519 II

- Differential Power Analysis (DPA)
  - SDA $\rightarrow$ Abhängigkeit Daten und Energieverbrauch
  - Energieverbrauch an einem Punkt der Encryption
- Zwischenwert (Intermediate Value)
  - Value mit bekanntem Teil/Message
  - Wert als Funktion darstellbar

$$S(M, k) = Value$$

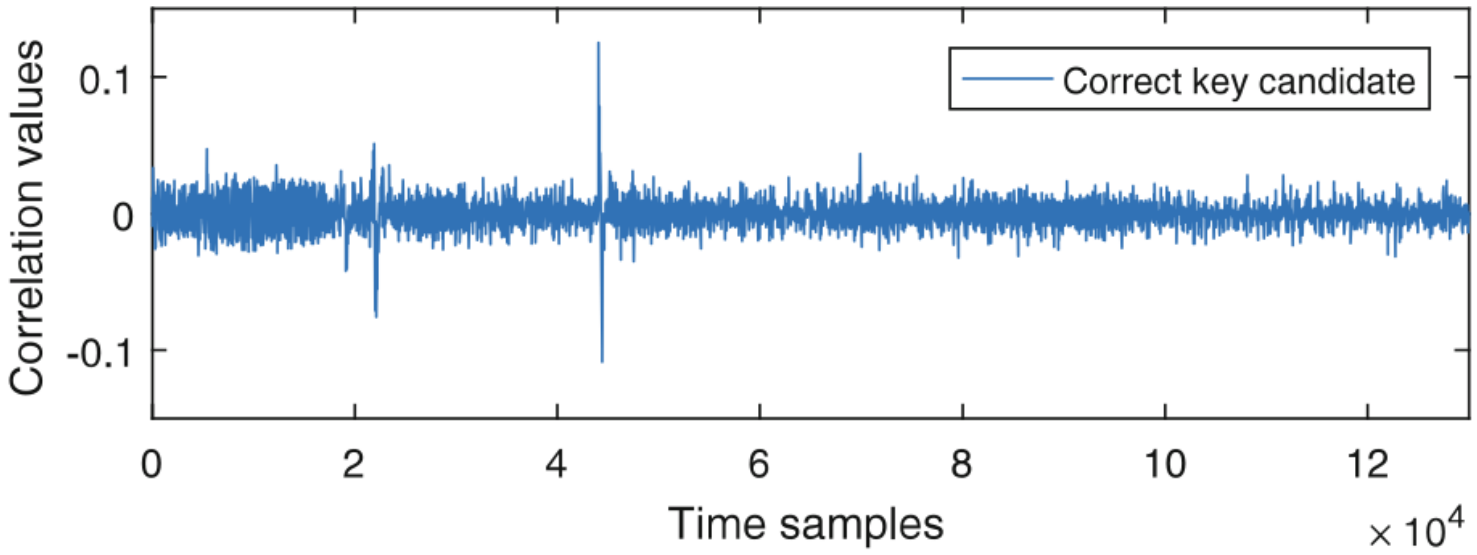
Angriff auf Ed25519 III

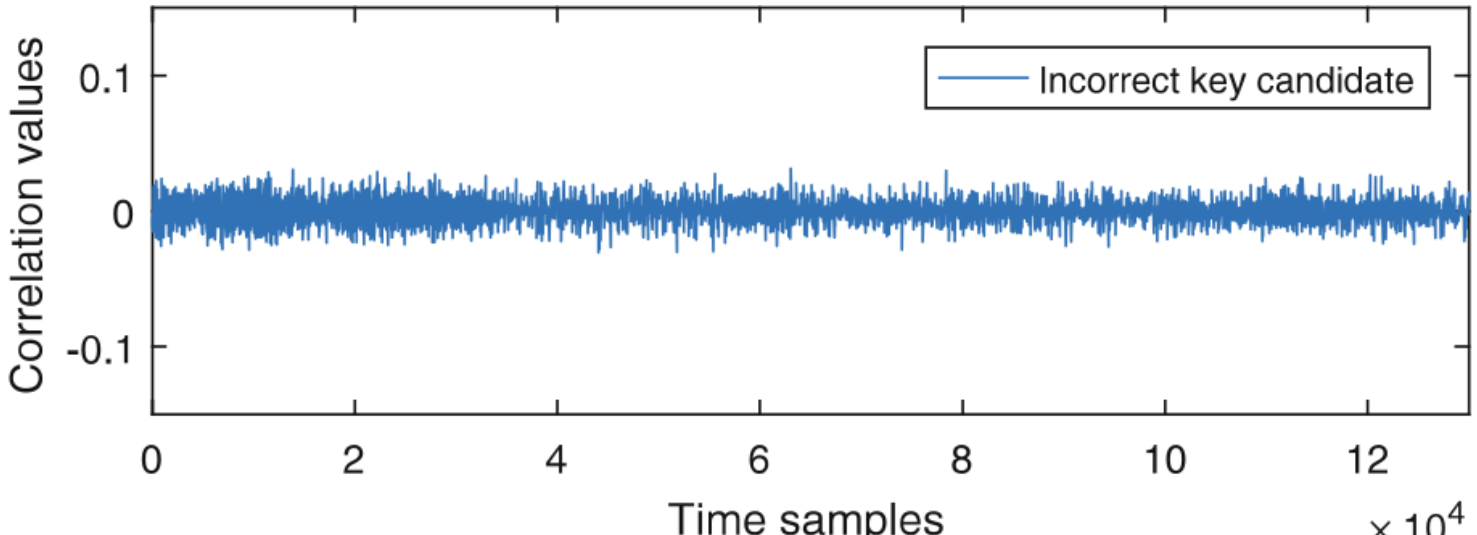
- 64 bit unbekannte Bits
  - 2^{64} mögliche Schlüssel
- Divide-and-Conquer Strategie
  - 8 Bit $\rightarrow$ 256 mögliche Schlüssel

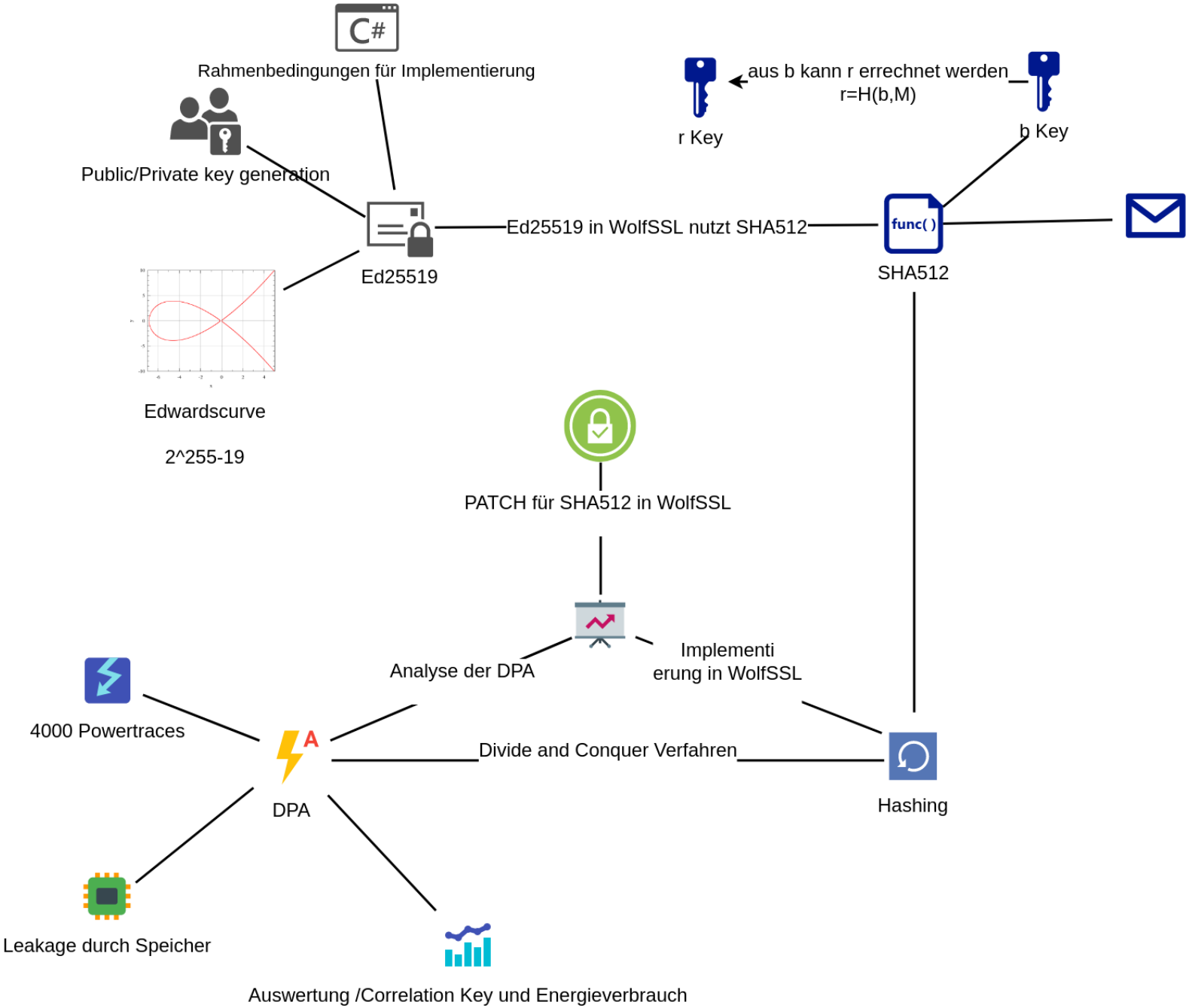
$$S(M, k^*)_{k_{16},\ \text{bit}\ 0-7} \leftarrow ((\sigma_1(w[14]) + w[9]) \mod 2^8) + k^*$$

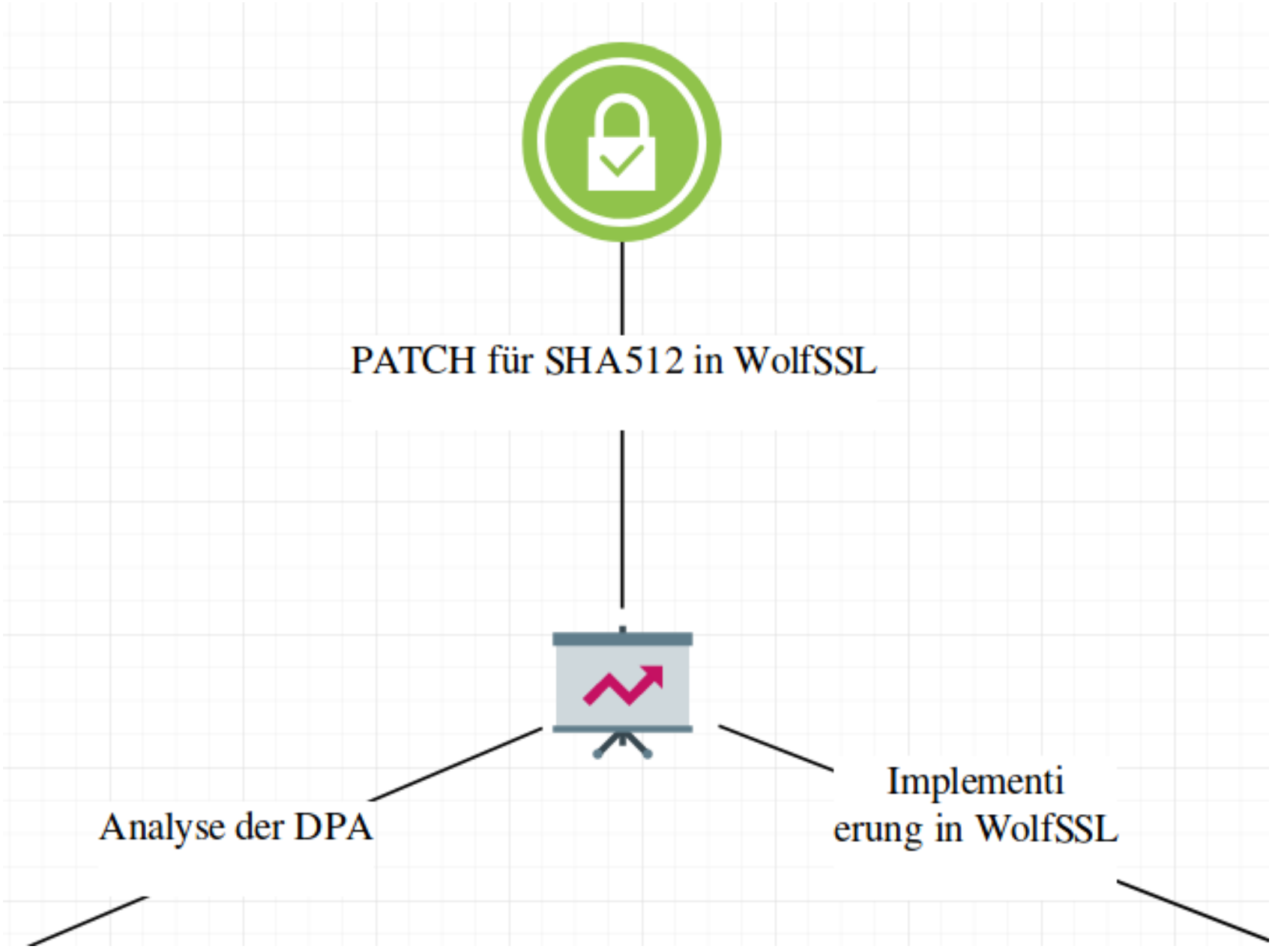
- Hamming Weight wird berechnet (Anzahl Traces X Key Kandidaten)
- Pearson Korrelation der Zeit (Time Samples, Hamming Weight)

Angriff auf Ed25519 IIII






C#
Rahmenbedingungen für Implementierung
Public/Private key generation
r Key
aus b kann r errechnet werden
r=H(b,M)
b Key
Ed25519 in WolfSSL nutzt SHA512
func( )
SHA512
Ed25519
Edwardscurve
2^255-19
PATCH für SHA512 in WolfSSL
Analyse der DPA
Implementi
erung in WolfSSL
4000 Powertraces
A
Divide and Conquer Verfahren
DPA
Hashing
Leakage durch Speicher
Auswertung /Correlation Key und Energieverbrauch


PATCH für SHA512 in WolfSSL
Analyse der DPA
Implementi
erung in WolfSSL

Verbesserung & Gegenmaßnahmen

- Schlüssel & Nachricht nicht gemeinsam in Kompressionsfunktion
- Padding bereits bei Schlüssel durchführen
  - Random Werte
- Vorteil
  - Verifikation Sigantur bleibt gleich
  - Implemetierung des SHA wird geändert
- Nachteil für IoT
  - Verlust der deterministischen Berechnung
  - Berechnungszeit steigt

IN A NUTSHELL

- Signaturerzeugung
- geheime Schlüssel errechnen
- Schwachstelle = “fahrlässige” **Implemetierung** des SHA512
- Fehlerhafte Implementierung $\rightarrow$ leichte Gegenmaßnahme

Literatur

Hühnlein, Detlef, and Ulrike Korte. 2006. *Grundlagen Der Elektronischen Signatur: Recht-Technik-Anwendung*. SecuMedia-Verlag.

Katz, Jonathan, Alfred J Menezes, Paul C Van Oorschot, and Scott A Vanstone. 1996. *Handbook of Applied Cryptography*. CRC press.

Susella, Ruggero. 2018. "Breaking Ed25519 in Wolfssl." In *Topics in Cryptology–Ct-Rsa 2018: The Cryptographers' Track at the Rsa Conference 2018, San Francisco, ca, Usa, April 16-20, 2018, Proceedings*, 10808:1. Springer.