Breaking Ed25519 in WolfSSL

Luis Kress, Johannes Hausmann

23-10-2019

Beispiel

Digitale Signatur und Verschlüsselung I

- Pendant der schriftlichen Signatur
  - Unterschrift auf Brief, Urkunde
- Dokument Erklärung, Vereinbarung
- Nachweis
  - Inhalt des Dokument (Unterzeichner)
  - Verifikation (Empfänger)
- Signatur ausschließlich durch Unterzeichner
- Verifikation soll jedem möglich sein

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) Erzeugung & Verifikation
5. Signaturprozess Formatierung der Daten in signierbare Nachrichten
6. Verfikationsprozess

Digitale Signatur und Verschlüsselung III

- Realisierung durch assymetrische Kryptoalgorithmen
- Message
- K_{Priv}
- K_{Pub}
- Einwegfunktion

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

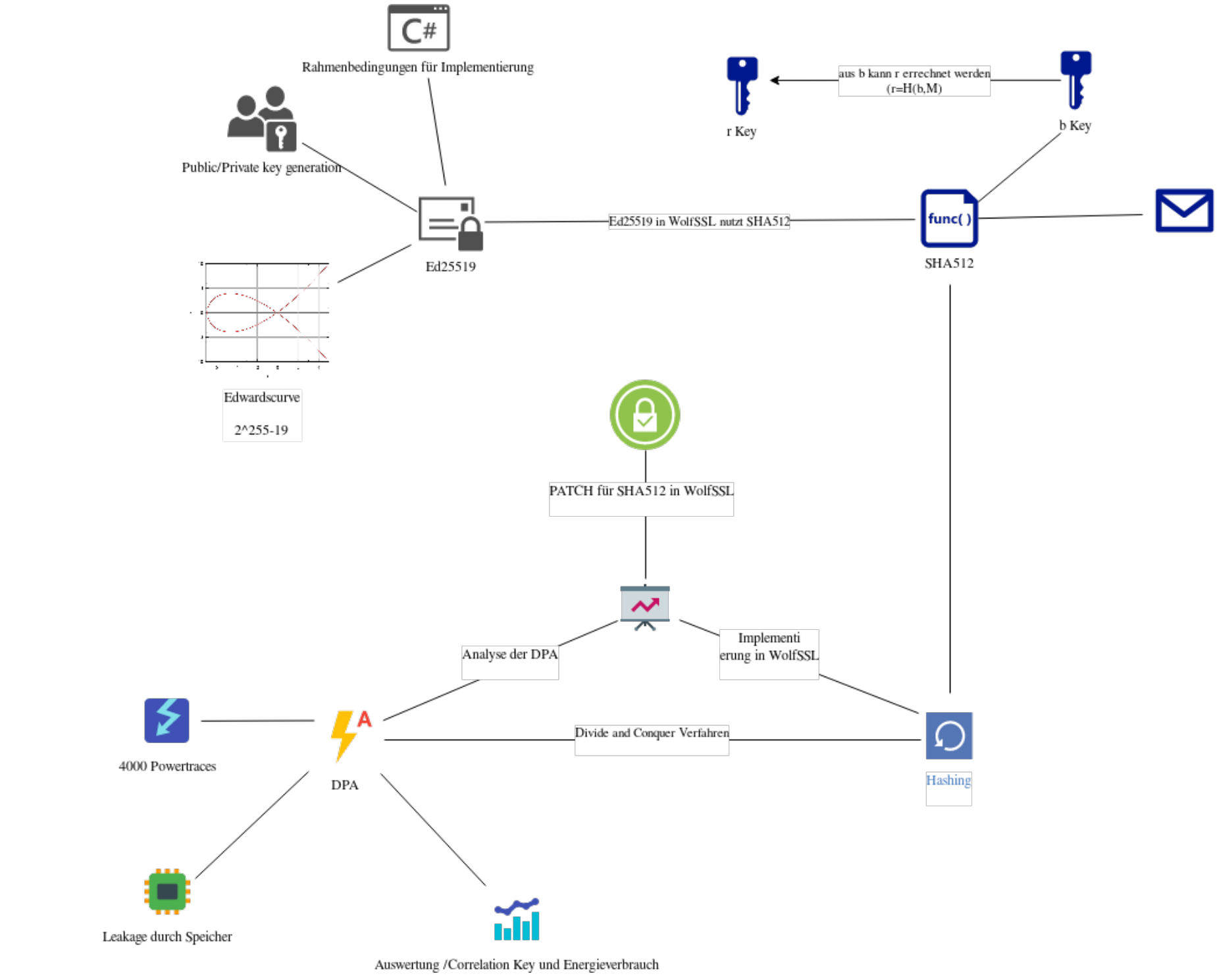
- inverse Funktionen
  - Signatur (Message, K_{Priv})
  - Verifikation (Message, Signatur, K_{Pub})
- K_{Pub} in öffentlichem Verzeichnis

Beispiel für Verwendung von Digitale Signaturen

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

```
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
```

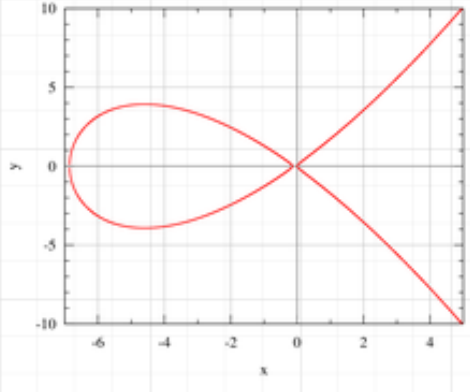
- Elektronische Steuerklärung


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

Rahmenbedingungen für Implementierung

Public/Private key generation

Ed25519



Edwardscurve

2^255-19

EDCSA & Ed25519

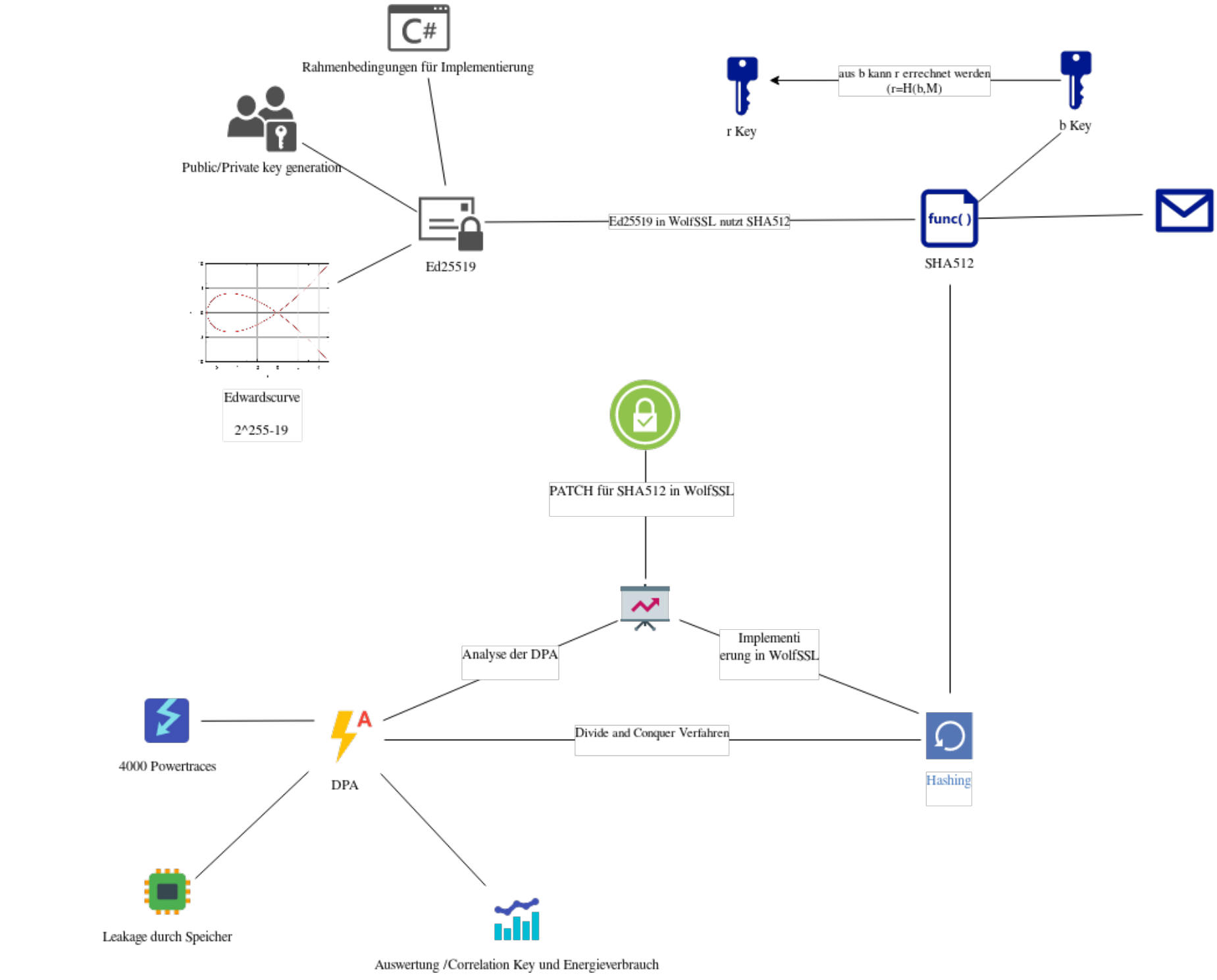
- Signaturverfahren basierend auf Eliptic Curve Cryptography (EEC)
  - Basis ist eine Punktruppe einer Elliptischen Kurve
- RSA Faktosisierungsproblem (Primzahlen)
- ECDSA ist verbereitet
  - EdDSA (Edwardscurve)
  - Ed25519 (Edwardscurve 25519)
- 160bit EEC Schlüssel = 1200bit RSA Schlüssel
  - Speicherverbrauch,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

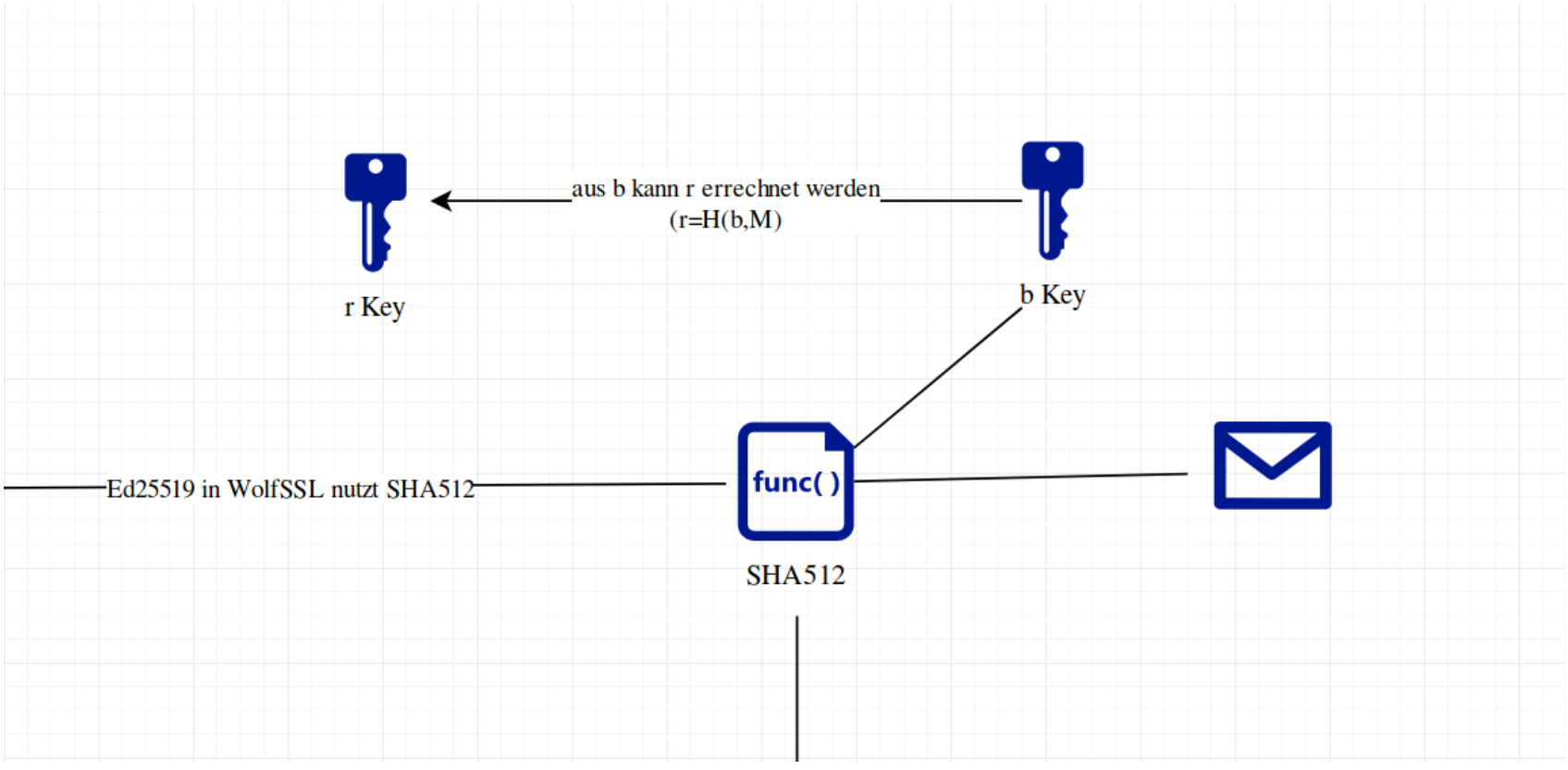
EDCSA & Ed25519

- Verwendung
  - OpenSSH
  - WolfSSL / OpenSSL / LibreSSL / GnuTLS
  - Tor Protokoll
  - DNS Protokolle
  - Signal Messenger Protokoll

Ed25519 Funktionsweise

Tafelbild


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
Implementierung in WolfSSL
4000 Powertraces
DPA
Divide and Conquer Verfahren
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) Bitlänge des Hash
- Auxiliary Schlüssel b

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

Secure Hash “SHA512” II

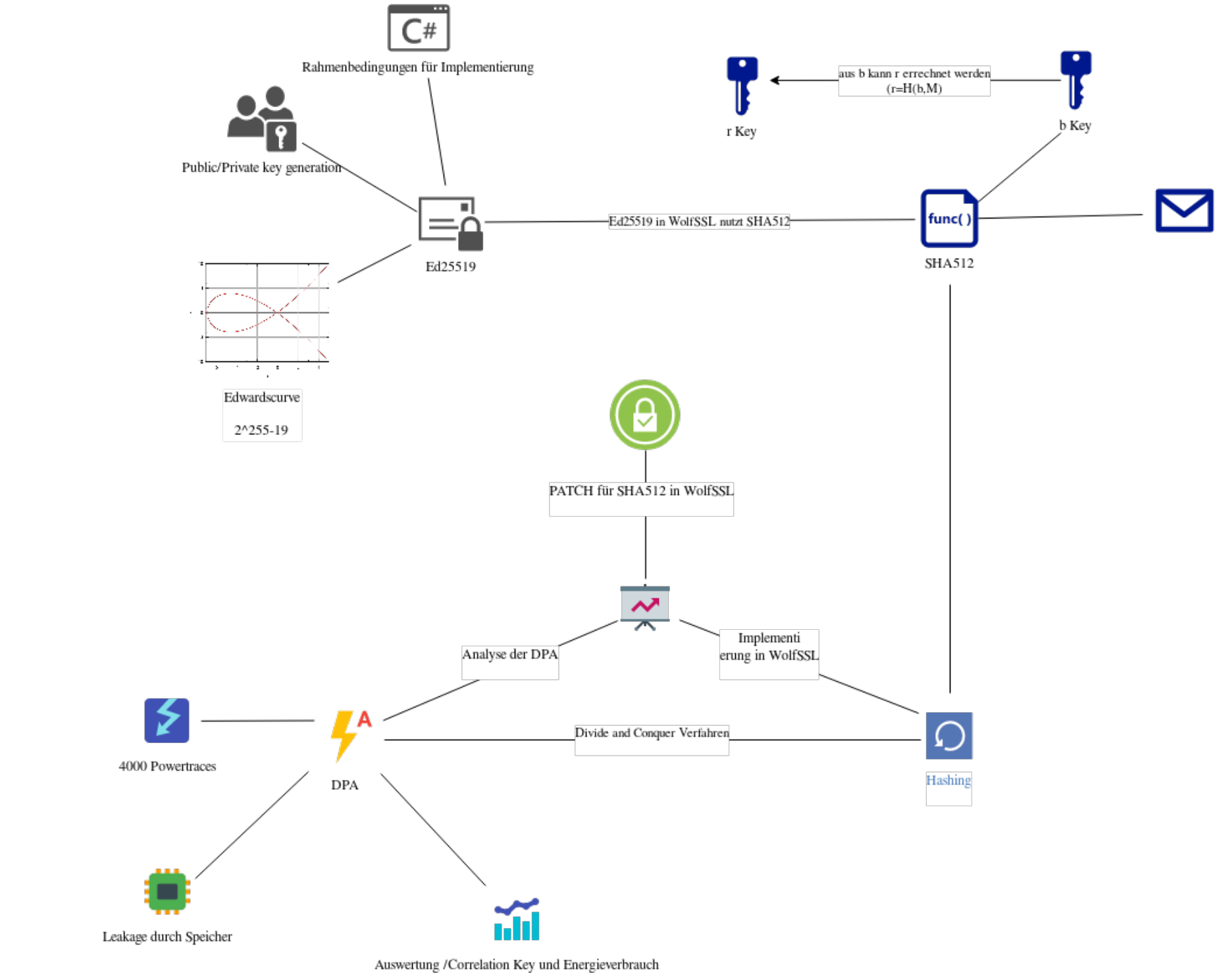
Algorithm 3. Merkle Damgård

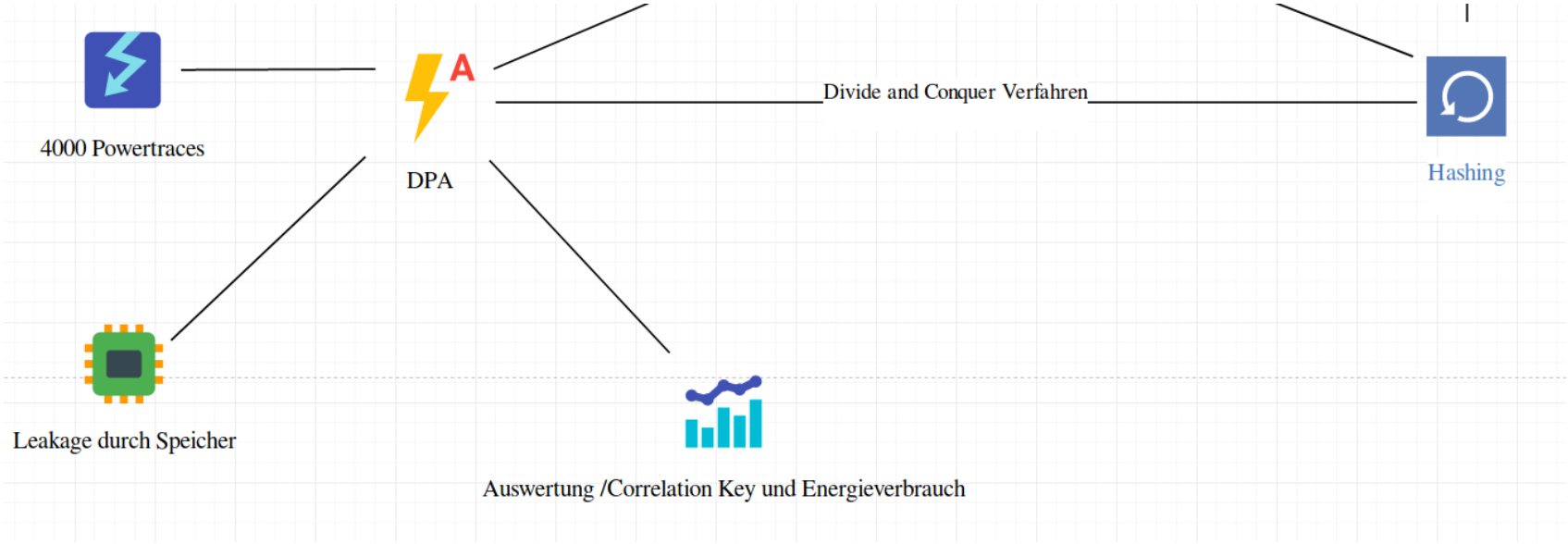
Input: Message M with $0 \leq$ bit-length $< 2^{128}$
Output: Hash value of M

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
- Blockgröße 1024 Bit
  - 16 Wörter
  - Wortgröße von 64 Bit
- 80 Runden
- Operationen auf Status
  - AND / XOR
  - Addition (mod 2^{64})


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
Implementierung in WolfSSL
4000 Powertraces
DPA
Divide and Conquer Verfahren
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 der “flüchtigen” Schlüssel
  - von Interesse ist Schlüssel b
- Hilfsschlüssel r bekannt
  - Scalar a, Hilfsschlüssel b manipulierte Signaturen

Angriff auf Ed25519 II

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

$$f(d, k) = Value$$

Angriff auf Ed25519 III

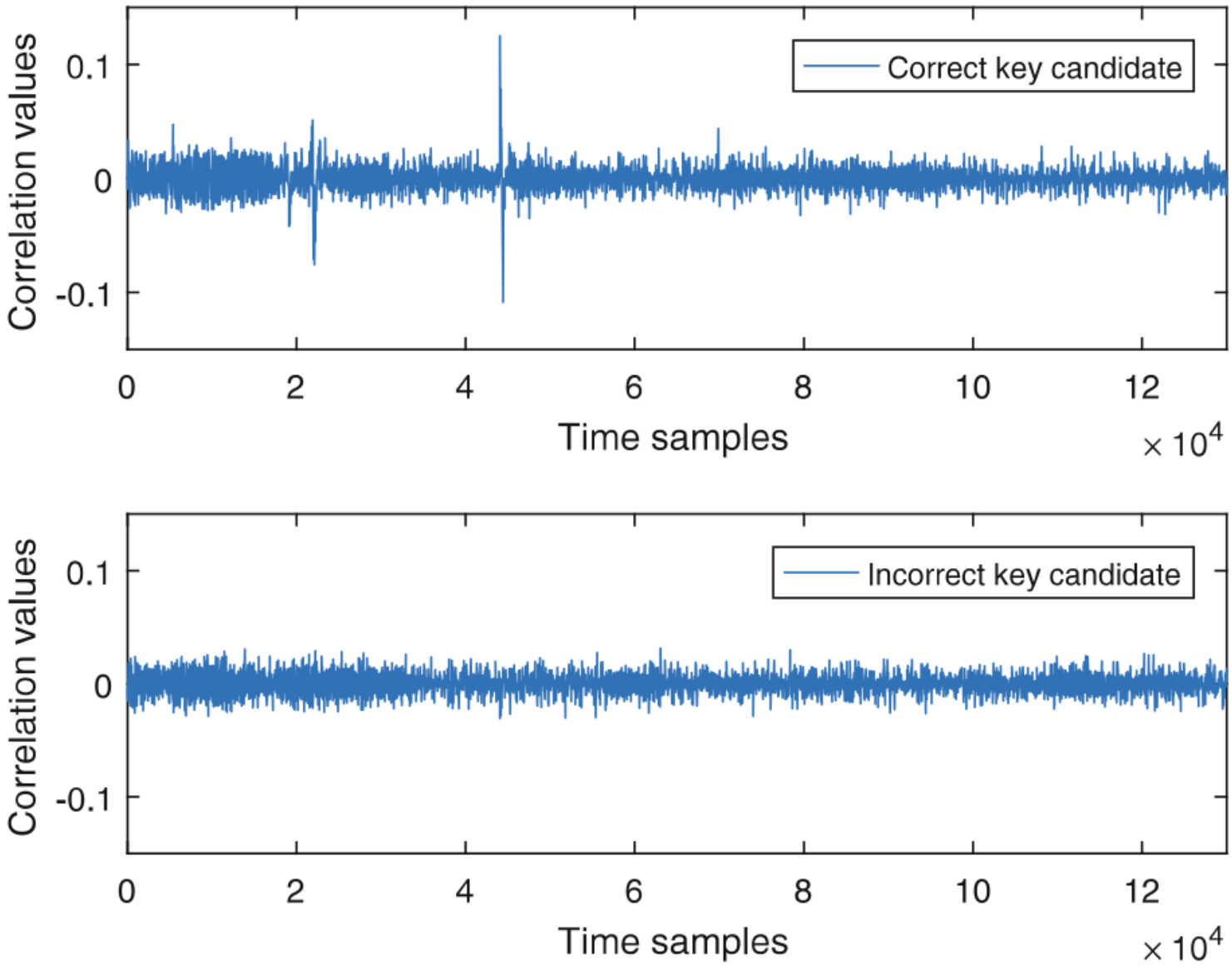
- 64 bit unbekannte Bits
  - 2^{64} mögliche Schlüssel
- Divide-and-Conquer Strategie
  - 8 Bit 256 mögliche Schlüssel

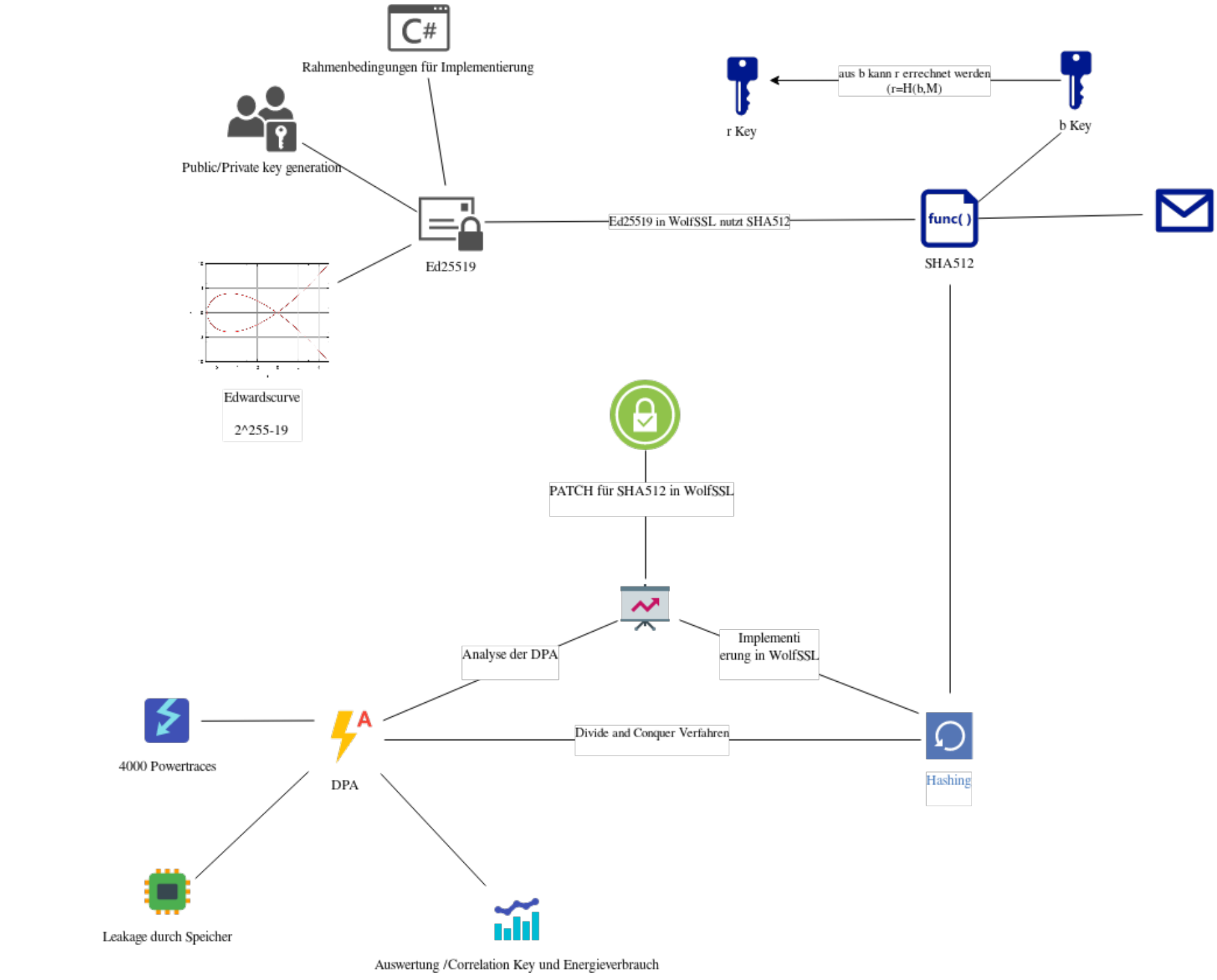
$$S(M, k^*)_{k_{16},\ \text{bit}\ 0-7} \leftarrow ((\sigma_1(w[14]) + w[9]) \mod 2^8) + k^*$$

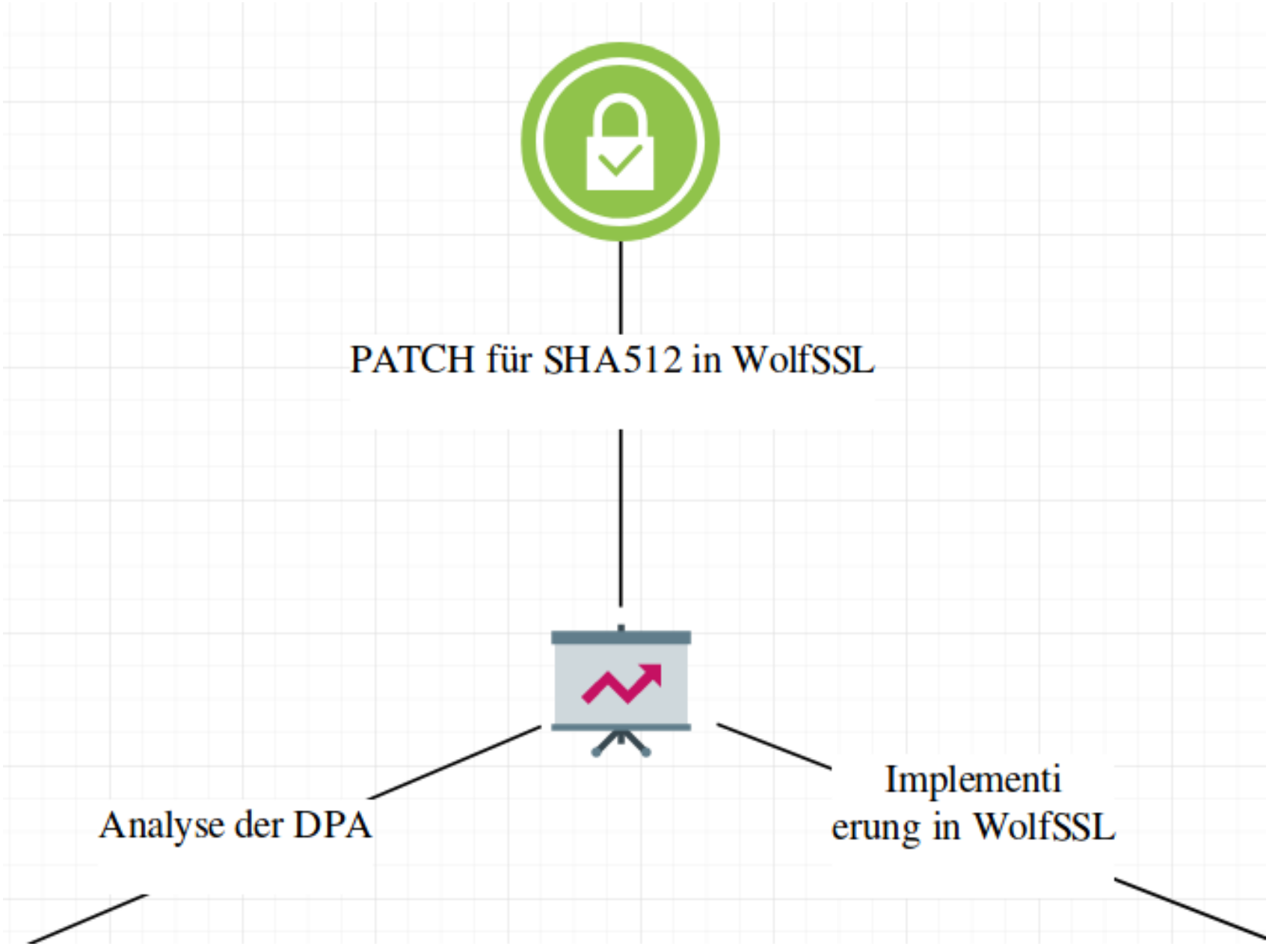
- Hamming Weight wird berechnet (Anzahl Traces X Key Kandidaten)
- Pearson Korrelation der Zeit (Time Samples, Hamming Weight)

```
Zu jedem Schlüssel Kandidaten muss jedes
Time sample eines Traces zugeordnet werden
→ korrekte Ausrichtung für jeden Schlüssel
→ Vergleichbarkeit
```

Angriff auf Ed25519 IIII

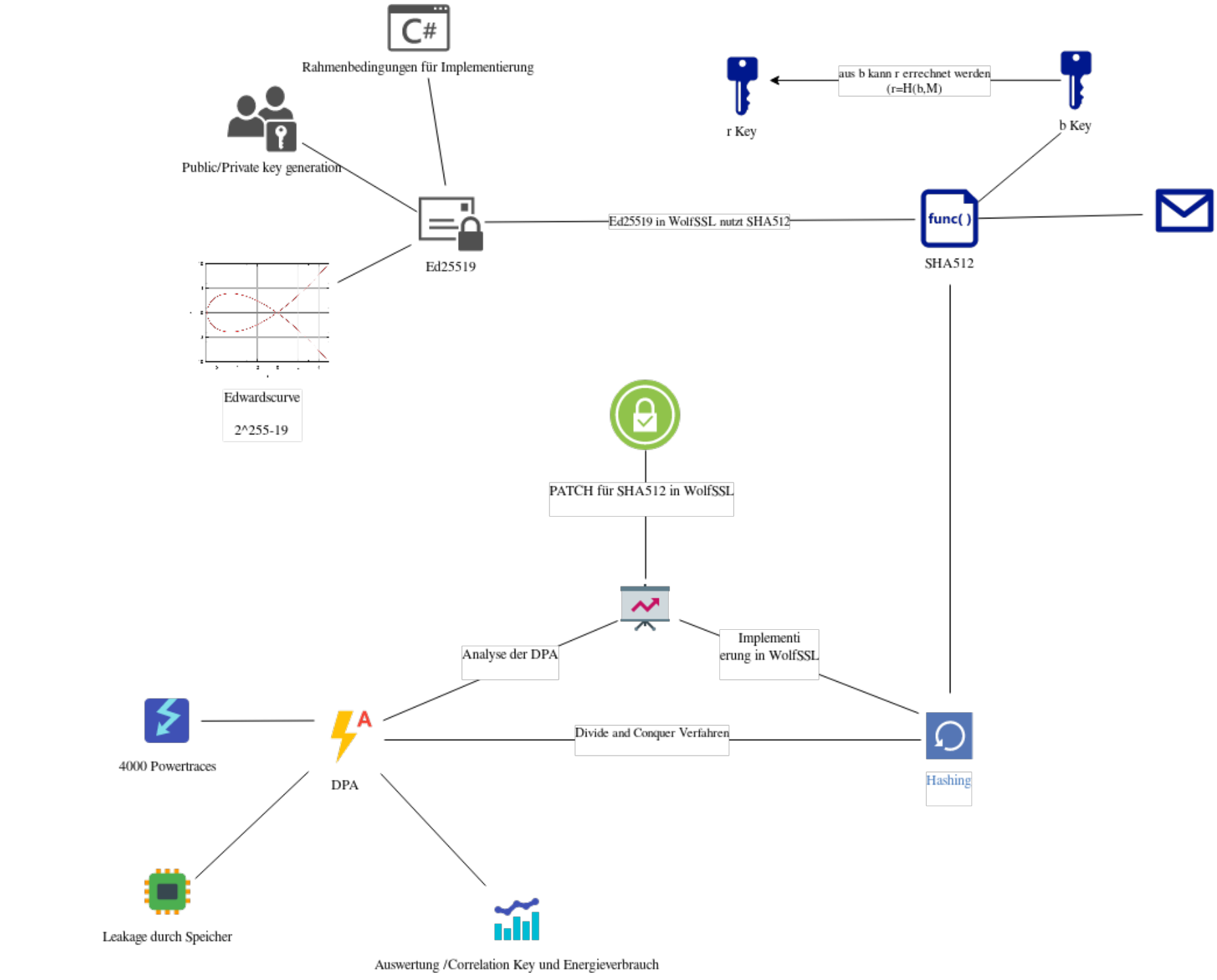



Rahmenbedingungen für Implementierung
Public/Private key generation
r Key
aus b kann r errechnet werden
(r=H(b,M)
b Key
Ed25519 in WolfSSL nutzt SHA512
func( )
SHA512
Ed25519
Edwardscurve
2^255-19
PATCH für SHA512 in WolfSSL
Analyse der DPA
Implementierung in WolfSSL
4000 Powertraces
DPA
Divide and Conquer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


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

WolfSSL

- embedded SSL Bibliothek in C geschrieben
- wolfCrypt Cryptobibliothek
- geeignet für IoT, Smart Home etc..


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