Blockstream

Blockstream
RESEARCH

Was ist Bitcoin Kryptographie?

Jonas Nick
nickler.ninja
@n1ckler

2022-09-16

₿TC22

Was benötigt wird, ist ein elektronisches Zahlungssystem, das auf kryptografischem Beweis statt auf Vertrauen basiert [...].

- Satoshi


BITCOIN
BITCOIN COMMUNITY
imgflip.com

Blockstream

RESEARCH

Blockstream
RESEARCH

- Fokus: Kryptographie & formale Sprachen

Blockstream

RESEARCH

- Fokus: Kryptographie & formale Sprachen
  - d.h. wissenschaftliche Publikationen, Spezifikationen (BIPs), Entwicklung von Freier Software

Blockstream
RESEARCH

- Fokus: Kryptographie & formale Sprachen
  - d.h. wissenschaftliche Publikationen, Spezifikationen (BIPs), Entwicklung von Freier Software
  - für Bitcoin Protokoll, Wallets, Elements/Liquid Sidechain, Lightning Network, Federated E-cash, usw.

Blockstream

RESEARCH

- Fokus: Kryptographie & formale Sprachen
  - d.h. wissenschaftliche Publikationen, Spezifikationen (BIPs), Entwicklung von Freier Software
  - für Bitcoin Protokoll, Wallets, Elements/Liquid Sidechain, Lightning Network, Federated E-cash, usw.
- blog.blockstream.com

Warm Up

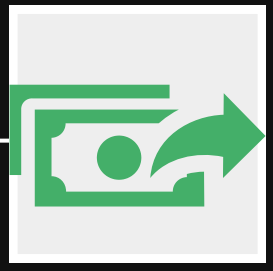
bitcoin_de.pdf

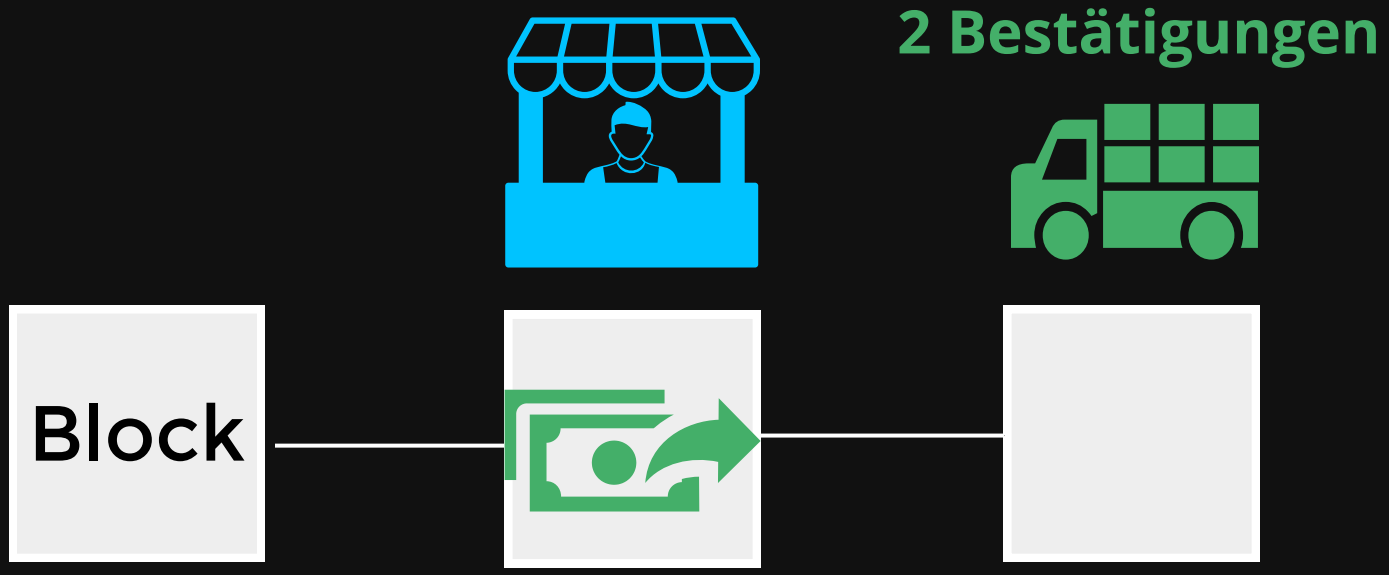
11. Berechnungen

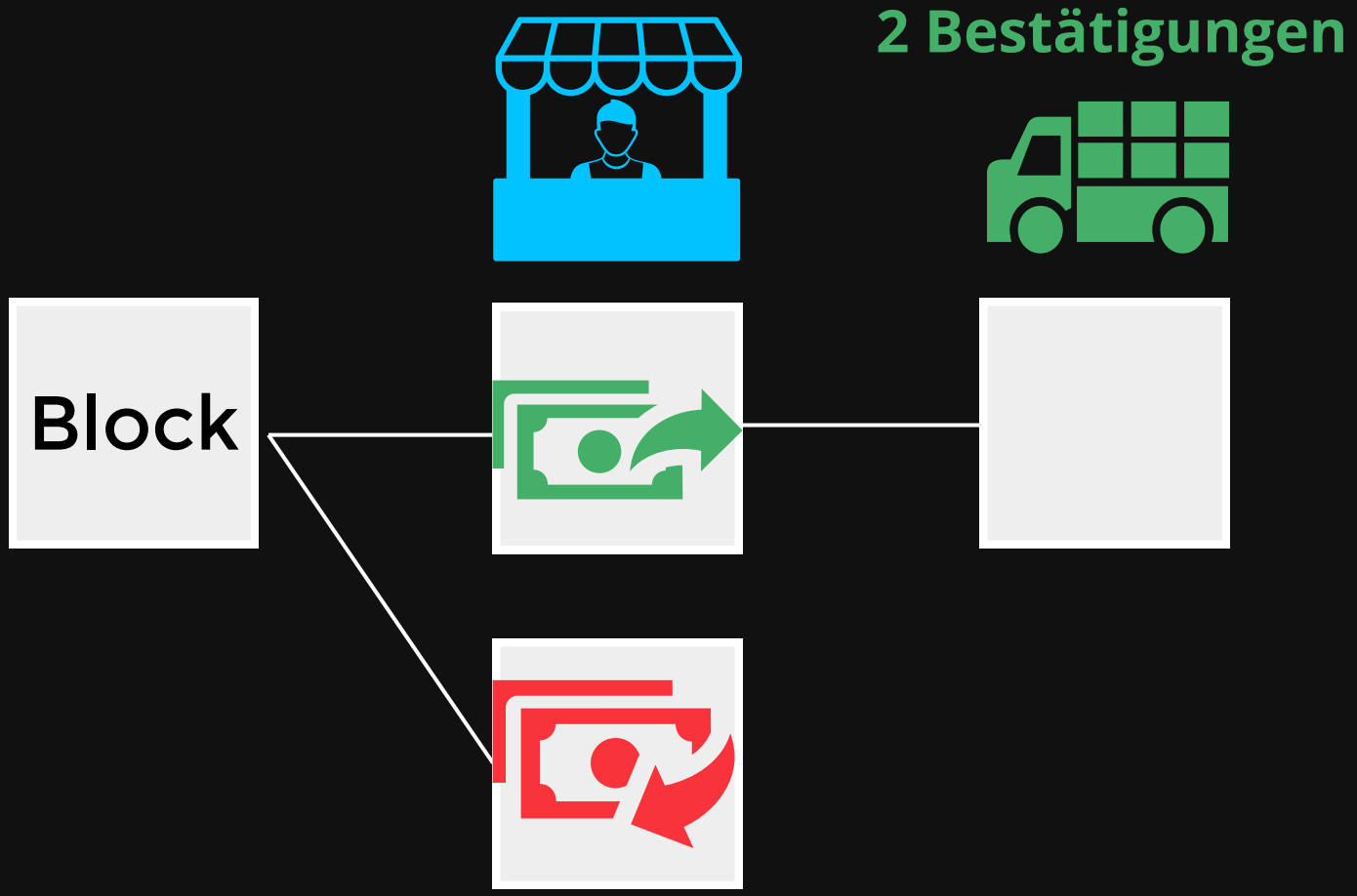
Wir betrachten das Szenario eines Angreifers, der versucht, eine alternative Kette schneller als die ehrliche Kette zu erzeugen. Selbst wenn dies erreicht wird, wird das System nicht für beliebige

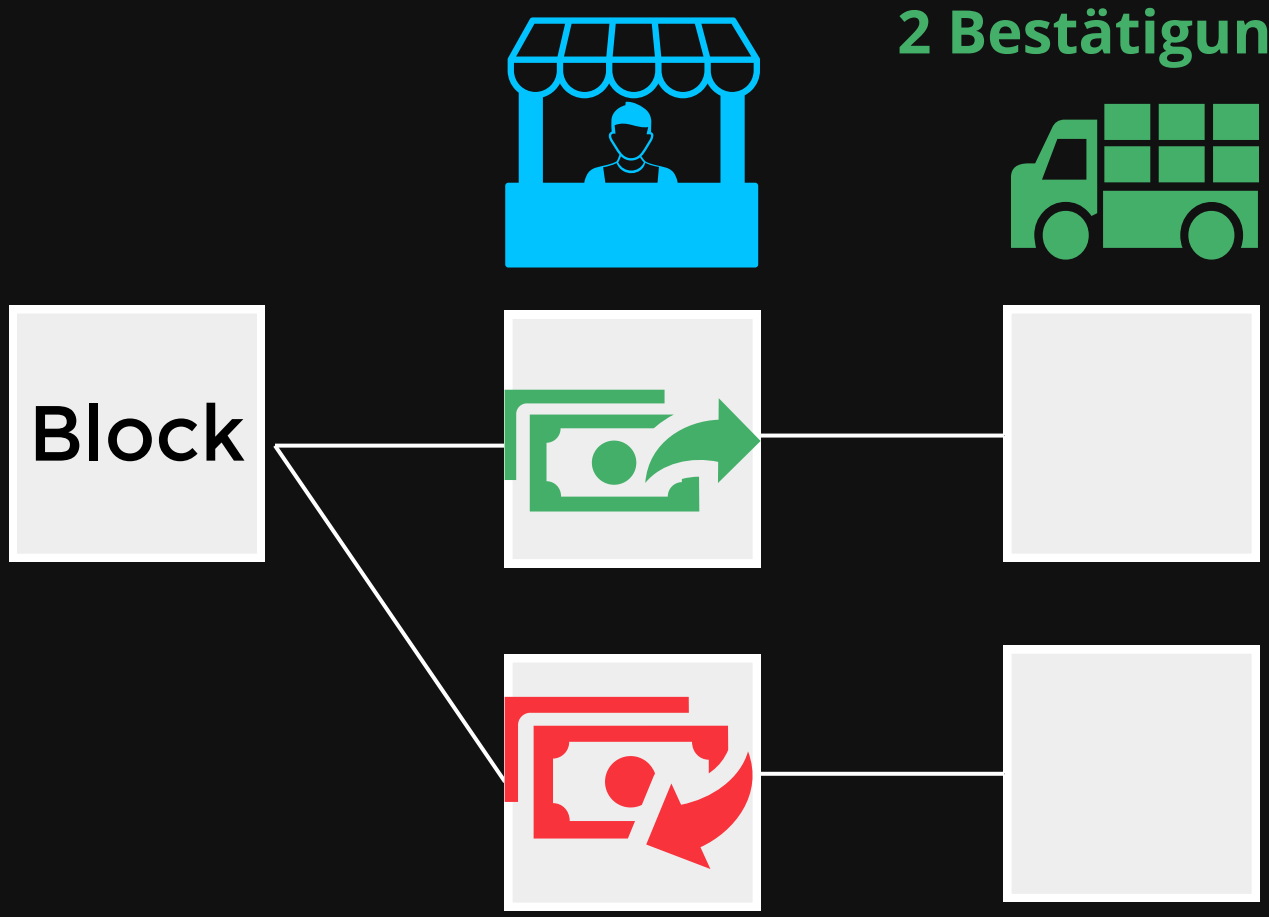
Block

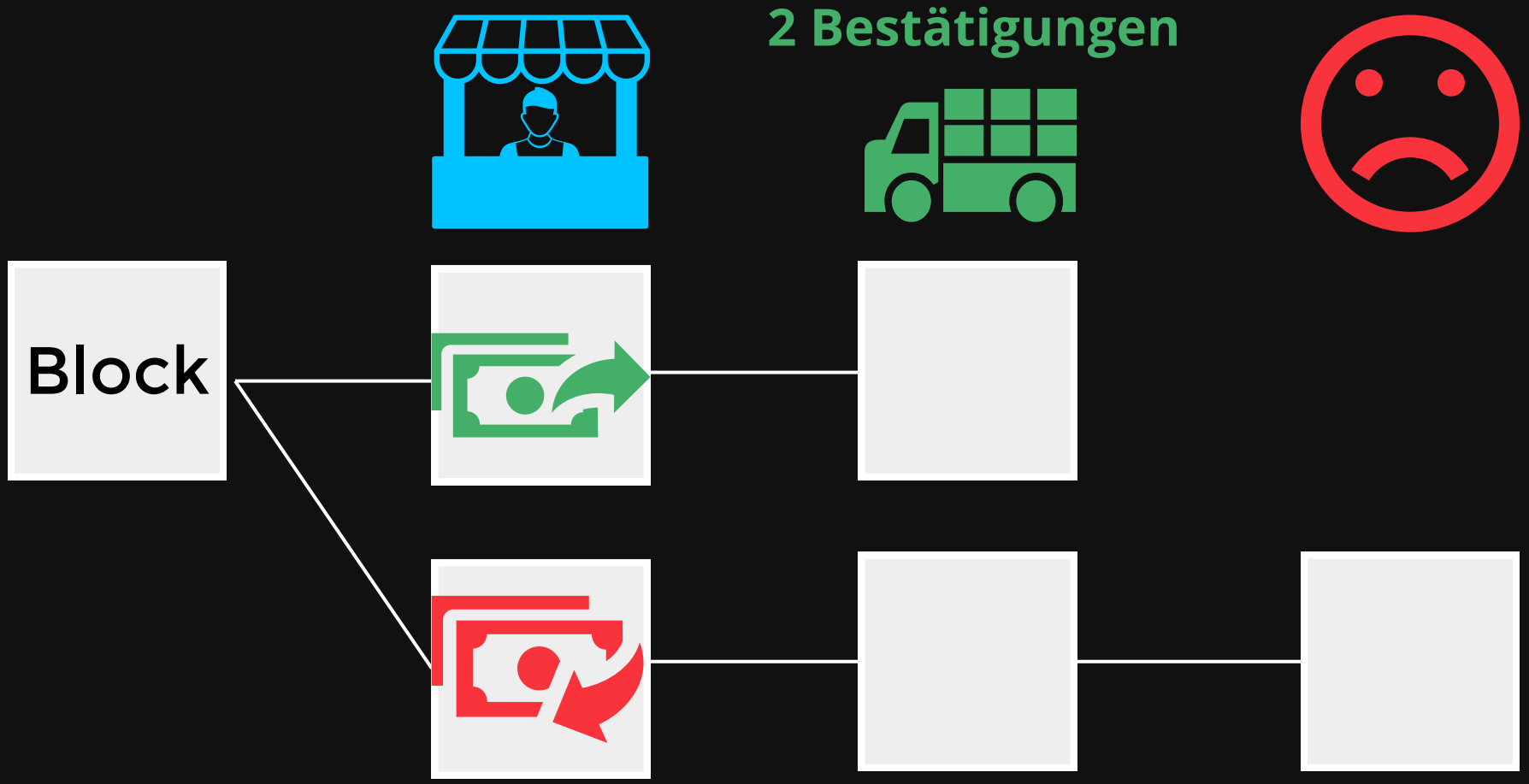
Block



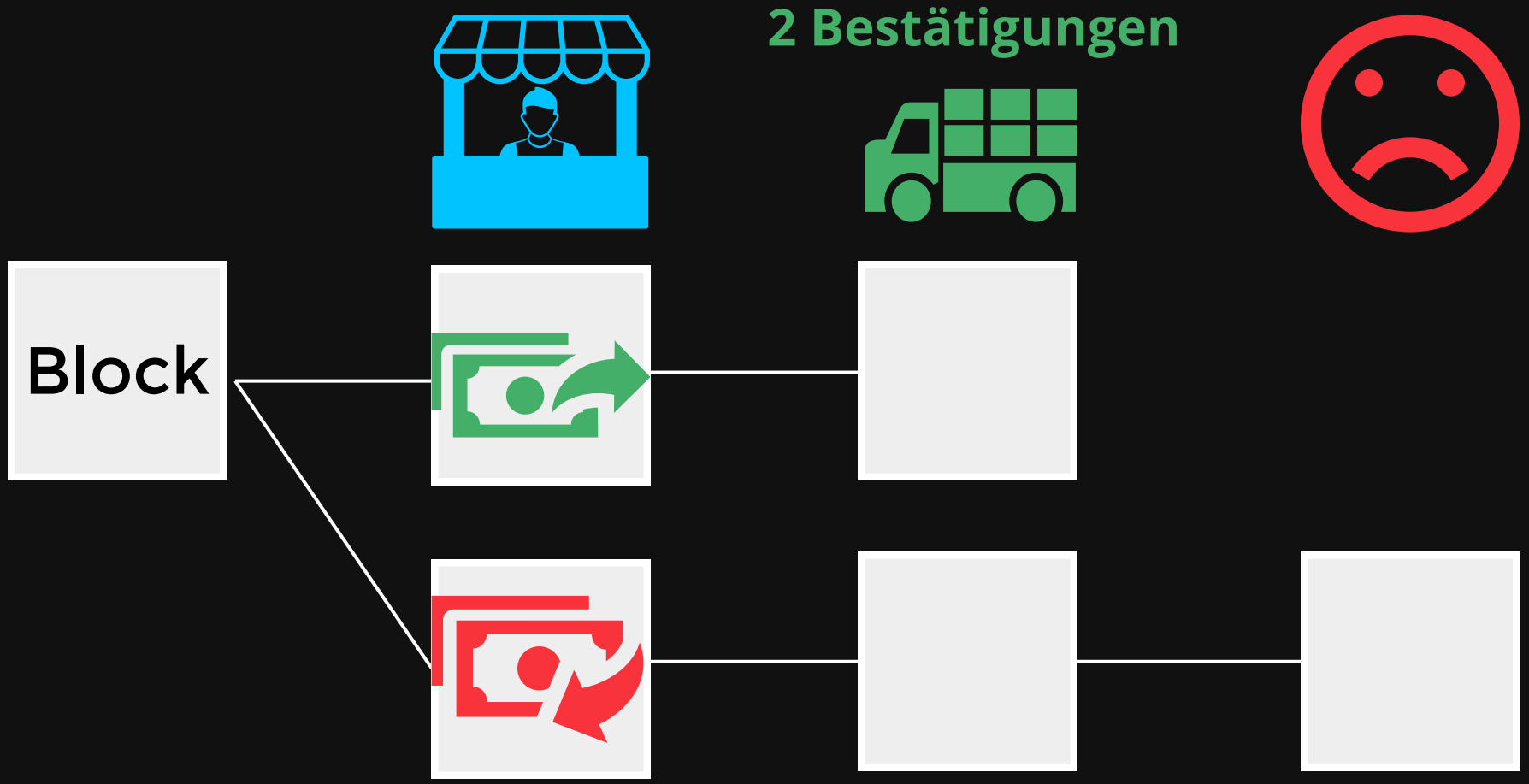

2 Bestätigungen
Block


2 Bestätigungen
Block


2 Bestätigungen
Block


2 Bestätigungen
Block

Double Spending



Wie viele Bestätigungen soll der Empfänger einer Transaktion abwarten?

Wie viele Bestätigungen soll der Empfänger einer Transaktion abwarten?

Bei 99% Erfolgswahrscheinlichkeit und
20% Hashrate des Angreifers

Wie viele Bestätigungen soll der Empfänger einer Transaktion abwarten?

Bei 99% Erfolgswahrscheinlichkeit und
20% Hashrate des Angreifers

	Antwort
Nakamoto	

Wie viele Bestätigungen soll der Empfänger einer Transaktion abwarten?

Bei 99% Erfolgswahrscheinlichkeit und
20% Hashrate des Angreifers

	Antwort
Nakamoto	7

Wie viele Bestätigungen soll der Empfänger einer Transaktion abwarten?

Bei 99% Erfolgswahrscheinlichkeit und
20% Hashrate des Angreifers

	Antwort
Nakamoto	7
Rosenfeld	8

Wie viele Bestätigungen soll der Empfänger einer Transaktion abwarten?

Bei 99% Erfolgswahrscheinlichkeit und
20% Hashrate des Angreifers

	Antwort
Nakamoto	7
Rosenfeld	8

Unterschiedliche Modellierung des Angreifers

Ohne Verständnis des Modells ist das Ergebnis wertlos.

Ohne Verständnis des Modells ist das Ergebnis wertlos.

Beispielsweise ignoriert das Modell die Frage, ob ein Angriff eine rationale Strategie ist.

Was ist Kryptographie?

Was ist Kryptographie?

die Wissenschaftliche Untersuchung von Verfahren zur Sicherung digitaler Information, Transaktionen und verteilter Berechnungen

Aus: Introduction to Modern Cryptography, J. Katz, Y. Lindell

Was ist Kryptographie?

die Wissenschaftliche Untersuchung von Verfahren zur Sicherung digitaler Information, Transaktionen und verteilter Berechnungen

Aus: Introduction to Modern Cryptography, J. Katz, Y. Lindell

Zentrale Rolle spielen Definitionen, Modelle, Annahmen & präzise Sicherheitsbeweise

Was sind Signaturen?

Was sind Signaturen?

In Bitcoin stellen digitale Signaturen sicher, dass nur der Besitzer den Coin ausgeben kann.

Was sind Signaturen?

In Bitcoin stellen digitale Signaturen sicher, dass nur der Besitzer den Coin ausgeben kann.

privater Schlüssel

öffentlicher Schlüssel

Was sind Signaturen?

In Bitcoin stellen digitale Signaturen sicher, dass nur der Besitzer den Coin ausgeben kann.

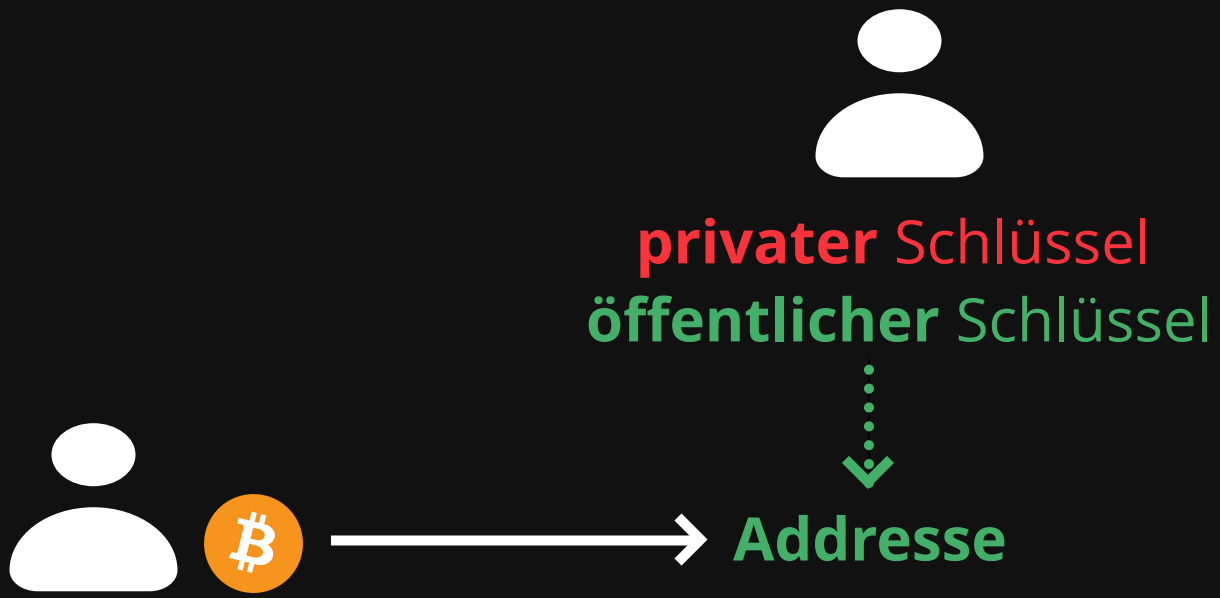
privater Schlüssel

öffentlicher Schlüssel

Addresse

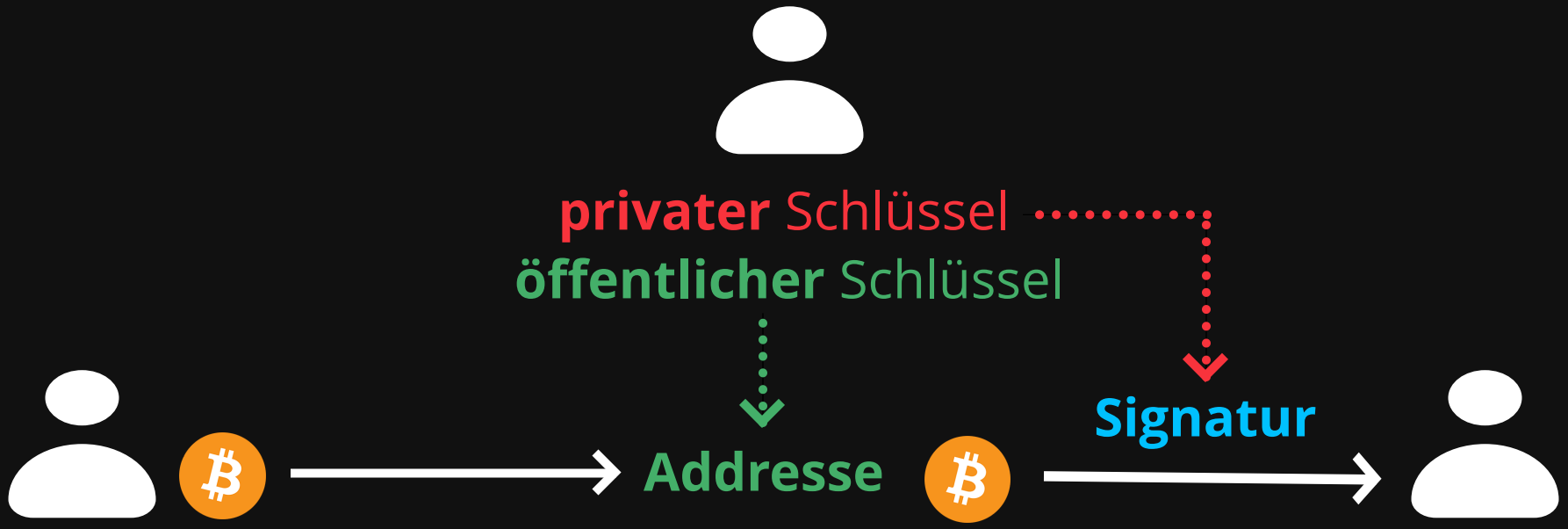
Was sind Signaturen?

In Bitcoin stellen digitale Signaturen sicher, dass nur der Besitzer den Coin ausgeben kann.



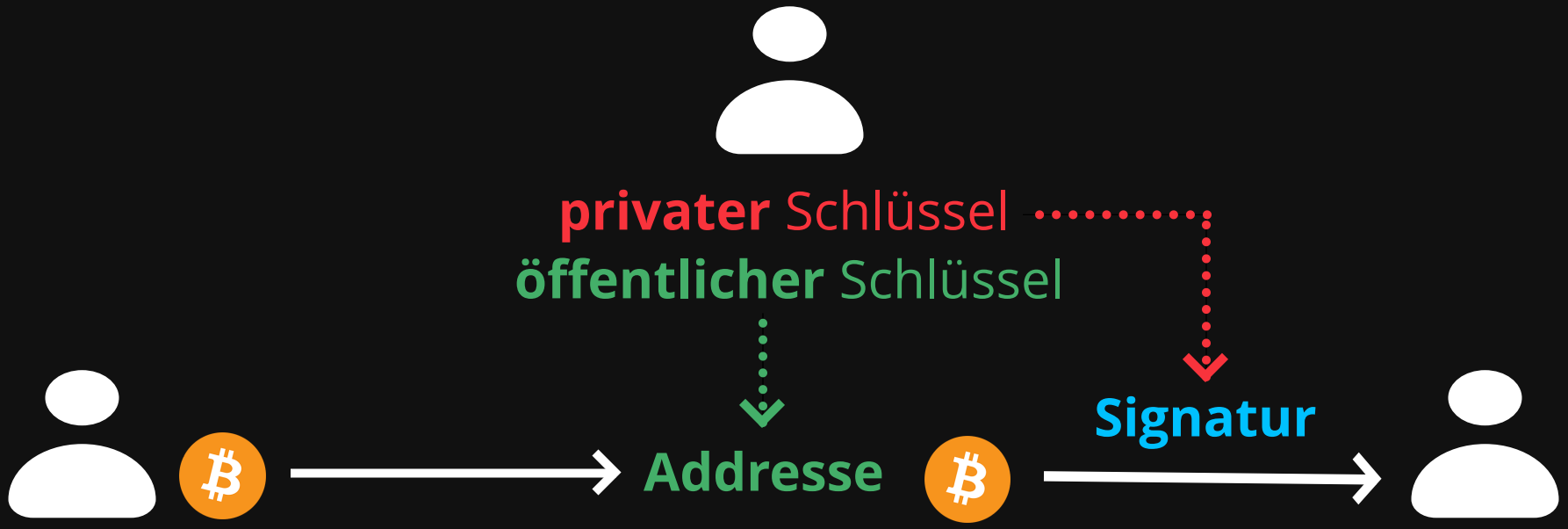
Was sind Signaturen?

In Bitcoin stellen digitale Signaturen sicher, dass nur der Besitzer den Coin ausgeben kann.



Was sind Signaturen?

In Bitcoin stellen digitale Signaturen sicher, dass nur der Besitzer den Coin ausgeben kann.



Sie bestehen aus drei Komponenten...

Was sind Signaturen?

Definition:

Was sind Signaturen?

Definition:

- `KeyGen`
  - Ausgabe: Schlüsselpaar aus privatem und öffentlichem Schlüssel

Was sind Signaturen?

Definition:

- `KeyGen`
  - Ausgabe: Schlüsselpaar aus privatem und öffentlichem Schlüssel
- Sign
  - Eingabe: privater Schlüssel und Nachricht
  - Ausgabe: Signatur

Was sind Signaturen?

Definition:

- `KeyGen`
  - Ausgabe: Schlüsselpaar aus privatem und öffentlichem Schlüssel
- Sign
  - Eingabe: privater Schlüssel und Nachricht
  - Ausgabe: Signatur
- Verify
  - Eingabe: öffentlicher Schlüssel, Nachricht, Signatur
  - Ausgabe: Ja oder Nein

Was sind Signaturen?

Definition:

- `KeyGen`
  - Ausgabe: Schlüsselpaar aus privatem und öffentlichem Schlüssel
- Sign
  - Eingabe: privater Schlüssel und Nachricht
  - Ausgabe: Signatur
- Verify
  - Eingabe: öffentlicher Schlüssel, Nachricht, Signatur
  - Ausgabe: Ja oder Nein

Fälschung: Erstellen einer Signatur für den öffentlichen Schlüssel einer anderen Person

Wann ist ein Signaturverfahren sicher?

Zu beweisen:

Wann ist ein Signaturverfahren sicher?

Zu beweisen:

- Es ist schwierig eine Signatur zu fälschen

Wann ist ein Signaturverfahren sicher?

Zu beweisen:

- ~~Es ist schwierig eine Signatur zu fälschen~~

Wann ist ein Signaturverfahren sicher?

Zu beweisen:

- ~~Es ist schwierig eine Signatur zu fälschen~~
- Es dauert sehr, sehr lange eine Signatur zu fälschen

Wann ist ein Signaturverfahren sicher?

Zu beweisen:

- ~~Es ist schwierig eine Signatur zu fälschen~~
- ~~Es dauert sehr, sehr lange eine Signatur zu fälschen~~

Wann ist ein Signaturverfahren sicher?

Zu beweisen:

- ~~Es ist schwierig eine Signatur zu fälschen~~
- ~~Es dauert sehr, sehr lange eine Signatur zu fälschen~~
- Annahme: es gibt ein **Problem X**, das vermutlich sehr, sehr lange dauert zu lösen

Wann ist ein Signaturverfahren sicher?

Zu beweisen:

- ~~Es ist schwierig eine Signatur zu fälschen~~
- ~~Es dauert sehr, sehr lange eine Signatur zu fälschen~~
- Annahme: es gibt ein **Problem X**, das vermutlich sehr, sehr lange dauert zu lösen
  - Es ist mindestens so schwer eine Signatur zu fälschen wie Problem X zu lösen

Wann ist ein Signaturverfahren sicher?

Zu beweisen:

- ~~Es ist schwierig eine Signatur zu fälschen~~
- ~~Es dauert sehr, sehr lange eine Signatur zu fälschen~~
- Annahme: es gibt ein **Problem X**, das vermutlich sehr, sehr lange dauert zu lösen
  - Es ist mindestens so schwer eine Signatur zu fälschen wie Problem X zu lösen
  - Oder andersherum: Wenn Problem X schwer, dann ist das Signaturverfahren sicher

Der Sicherheitsbeweis

Der Sicherheitsbeweis

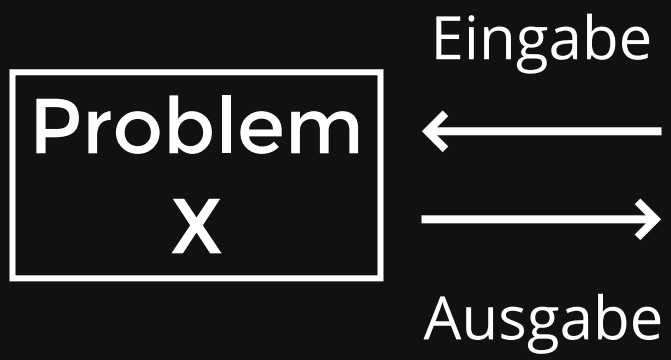
Problem X

Der Sicherheitsbeweis

Problem X

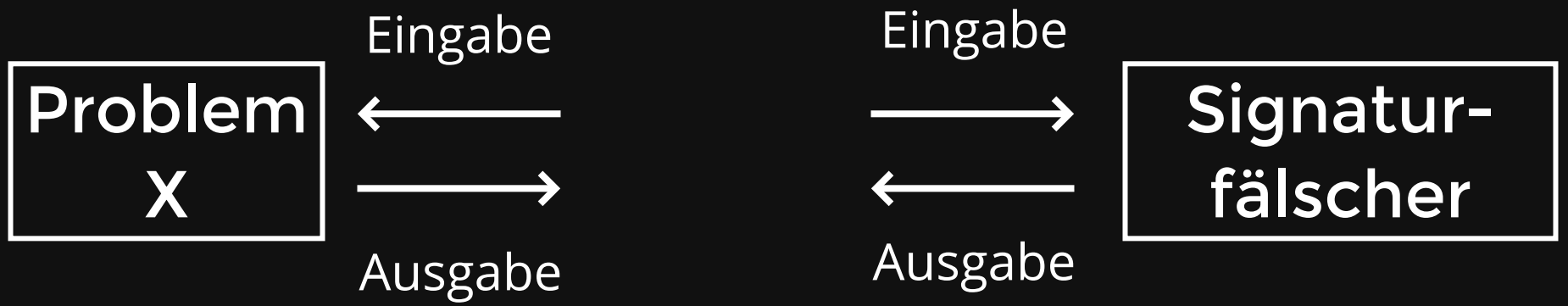
(Diskreter Logarithmus auf Elliptischer Kurve secp256k1)

Der Sicherheitsbeweis

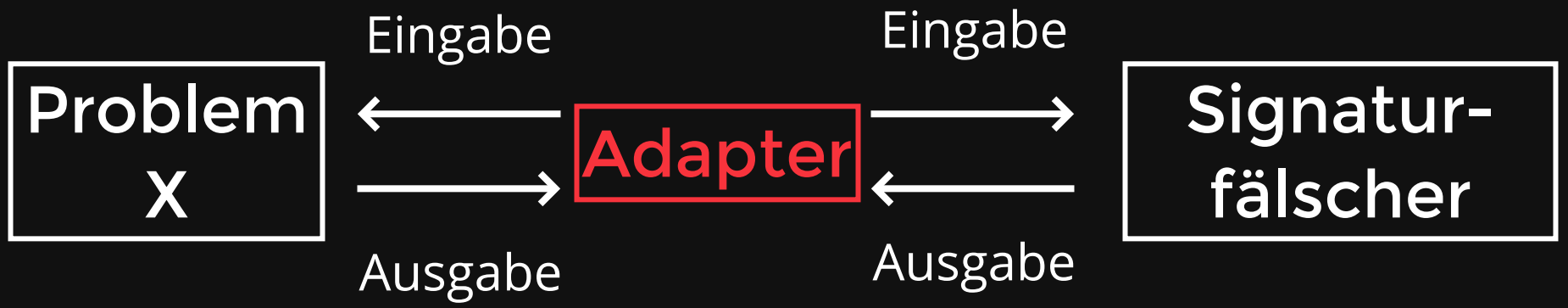


Der Sicherheitsbeweis

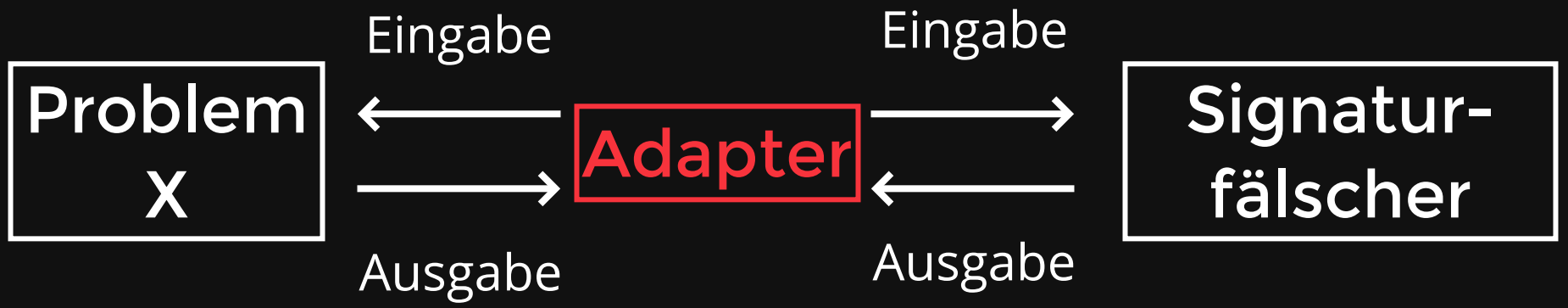
Der Sicherheitsbeweis



Der Sicherheitsbeweis



Der Sicherheitsbeweis



Gibt es einen Fälscher, so koennen wir Problem X lösen.

Kurz Verschnaufen...

Kein Beweis, Kein Problem?

Kein Beweis, Kein Problem?

- Beispiele:

Kein Beweis, Kein Problem?

- Beispiele:
  - **Problem X** gilt als schwer, weil keine effizienten Lösungsansätze bekannt

Kein Beweis, Kein Problem?

- Beispiele:
  - **Problem X** gilt als schwer, weil keine effizienten Lösungsansätze bekannt
  - Hash Funktion **SHA-256** hat keinen kompletten Sicherheitsbeweis

Kein Beweis, Kein Problem?

- Beispiele:
  - **Problem X** gilt als schwer, weil keine effizienten Lösungsansätze bekannt
  - Hash Funktion **SHA-256** hat keinen kompletten Sicherheitsbeweis
  - Signatur-Verfahren **ECDSA** hat Sicherheitsbeweis, aber in ungewöhnlichem Modell

Kein Beweis, Kein Problem?

- Beispiele:
  - **Problem X** gilt als schwer, weil keine effizienten Lösungsansätze bekannt
  - Hash Funktion **SHA-256** hat keinen kompletten Sicherheitsbeweis
  - Signatur-Verfahren **ECDSA** hat Sicherheitsbeweis, aber in ungewöhnlichem Modell
- Aber, neue Verfahren ohne Beweis: Skepsis!

Kein Beweis, Kein Problem?

- Beispiele:
  - **Problem X** gilt als schwer, weil keine effizienten Lösungsansätze bekannt
  - Hash Funktion **SHA-256** hat keinen kompletten Sicherheitsbeweis
  - Signatur-Verfahren **ECDSA** hat Sicherheitsbeweis, aber in ungewöhnlichem Modell
- Aber, neue Verfahren ohne Beweis: Skepsis!
  - Erste Versionen von **half-aggregation**, **discreet-log contracts**, **pay-to-contract** unsicher

Kein Beweis, Kein Problem?

- Beispiele:
  - **Problem X** gilt als schwer, weil keine effizienten Lösungsansätze bekannt
  - Hash Funktion **SHA-256** hat keinen kompletten Sicherheitsbeweis
  - Signatur-Verfahren **ECDSA** hat Sicherheitsbeweis, aber in ungewöhnlichem Modell
- Aber, neue Verfahren ohne Beweis: Skepsis!
  - Erste Versionen von **half-aggregation**, **discreet-log contracts**, **pay-to-contract** unsicher
  - **BIP 32** (HD-Wallets) komplizierter als nötig

Zurück zur echten Welt

Zurück zur echten Welt

Paper

Zurück zur echten Welt

Paper

Bsp.: "Sei $P \in \mathbb{G}$"

Zurück zur echten Welt

Paper → Implementation

Bsp.:

"Sei $P \in \mathbb{G}$"

```
unsigned char
P[33];
```

Zurück zur echten Welt

Bsp.:

"Sei $P \in \mathbb{G}$"

"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"

```
unsigned char P[33];
```

Zurück zur echten Welt

Bsp.:

"Sei $P \in \mathbb{G}$"

"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"

```
unsigned char P[33];
```

Spezifikation / Bitcoin Improvement Proposal (BIP):

Zurück zur echten Welt

Bsp.:	"Sei $P \in \mathbb{G}$"	"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"	`unsigned char P[33];`

Spezifikation / Bitcoin Improvement Proposal (BIP):

- Von mathematischen Objekten zu Bits & Bytes

Zurück zur echten Welt

Bsp.:	"Sei $P \in \mathbb{G}$"	"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"	`unsigned char P[33];`

Spezifikation / Bitcoin Improvement Proposal (BIP):

- Von mathematischen Objekten zu Bits & Bytes
- Ziel: ermöglicht kompatible Implementationen

Zurück zur echten Welt

	Paper	Spezifikation	Implementation
Bsp.:	"Sei $P \in \mathbb{G}$"	"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"	`unsigned char P[33];`

Spezifikation / Bitcoin Improvement Proposal (BIP):

- Von mathematischen Objekten zu Bits & Bytes
- Ziel: ermöglicht kompatible Implementationen
- Spezifikation der Spezifikationen: BIP 2

Zurück zur echten Welt

	Paper	Spezifikation	Implementation
Bsp.:	"Sei $P \in \mathbb{G}$"	"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"	`unsigned char P[33];`

Spezifikation / Bitcoin Improvement Proposal (BIP):

- Von mathematischen Objekten zu Bits & Bytes
- Ziel: ermöglicht kompatible Implementationen
- Spezifikation der Spezifikationen: BIP 2
- Unklare Spezifikationen führen zu Schwachstellen in Implementationen

Zurück zur echten Welt

Bsp.:	"Sei $P \in \mathbb{G}$"	"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"	`unsigned char P[33];`

Spezifikation / Bitcoin Improvement Proposal (BIP):

- Von mathematischen Objekten zu Bits & Bytes
- Ziel: ermöglicht kompatible Implementationen
- Spezifikation der Spezifikationen: BIP 2
- Unklare Spezifikationen führen zu Schwachstellen in Implementationen
- In Zukunft idealerweise: Formale Spezifikationen, die beweisbar korrekte implementationen ermöglichen

Zurück zur echten Welt

Bsp.:

"Sei $P \in \mathbb{G}$"

"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"

```
unsigned char P[33];
```

Zurück zur echten Welt

Bsp.:

"Sei $P \in \mathbb{G}$"

"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"

```
unsigned char P[33];
```

Implementation:

Zurück zur echten Welt

Bsp.:	"Sei $P \in \mathbb{G}$"	"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"	`unsigned char P[33];`

Implementation:

- Soll natürlich korrekt sein

Zurück zur echten Welt

Bsp.:	"Sei $P \in \mathbb{G}$"	"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"	`unsigned char P[33];`

Implementation:

- Soll natürlich korrekt sein
- Frei von Seitenkanälen, z.B Korrelation von privatem Schlüssel und Rechenzeit

Zurück zur echten Welt

Paper → Spezifikation → Implementation

Bsp.:	"Sei $P \in \mathbb{G}$"	"Sei P eine Anordnung von 33 bytes"	`unsigned char P[33];`

Implementation:

- Soll natürlich korrekt sein
- Frei von Seitenkanälen, z.B Korrelation von privatem Schlüssel und Rechenzeit

CPU-BUG HERTZBLEED

Erstmals Seitenkanalangriff über CPU-Frequenzen gelungen

Die Frequenz von x86-CPUs hängt von den verarbeiteten Daten ab. Durch gezielte Taktänderungen lassen sich Seitenkanäle zum Ausleiten von Schlüsseln finden.

in Pocket speichern merken

15. Juni 2022, 12:47 Uhr, Sebastian Grüner

Was ist Bitcoin Kryptographie?

on-chain

(Base Layer)

off-chain

("Layer 2")

---

on-chain

(Base Layer)

off-chain

("Layer 2")

---

on-chain

(Base Layer)

muss jeder Bitcoin Knoten validieren, Konsens

off-chain ("Layer 2")	optional, Settlement auf Base Layer
on-chain (Base Layer)	muss jeder Bitcoin Knoten validieren, Konsens

(Multiparty-)
Payment Channels

Sidechains

Federated
E-Cash

off-chain

("Layer 2")

optional, Settlement auf Base Layer

---

on-chain

(Base Layer)

muss jeder Bitcoin Knoten validieren, Konsens

Kryptographie

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Benötigt Konsens der Bitcoin community, daher

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Benötigt Konsens der Bitcoin community, daher

- etablierte Annahmen

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Benötigt Konsens der Bitcoin community, daher

- etablierte Annahmen
- effizient

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Benötigt Konsens der Bitcoin community, daher

- etablierte Annahmen
- effizient
- "einfach" zu analysieren und implementieren

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Konsens ist veränderlich

Benötigt Konsens der Bitcoin community, daher

- etablierte Annahmen
- effizient
- "einfach" zu analysieren und implementieren

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Layer 2 Kryptographie

Kryptographie, die

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Layer 2 Kryptographie

Kryptographie, die

- auf Bitcoin Base Layer aufbaut

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Layer 2 Kryptographie

Kryptographie, die

- auf Bitcoin Base Layer aufbaut
- dort aber nicht praktikabel wäre

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Layer 2 Kryptographie

Kryptographie, die

- auf Bitcoin Base Layer aufbaut
- dort aber nicht praktikabel wäre
- bessere Effizienz & Überwachungsresistenz ermöglicht

Kryptographie

Bitcoin Kryptographie

Layer 2 Kryptographie

Kryptographie, die

- auf Bitcoin Base Layer aufbaut
- dort aber nicht praktikabel wäre
- bessere Effizienz & Überwachungsresistenz ermöglicht
- z.B Multisignaturen, Blinde Signaturen, Zero-Knowledge Beweise beinhaltet

Fallstudie: Post-Quanten Kryptographie

Fallstudie: Post-Quanten Kryptographie

Für Quantencomputer ist Problem X theoretisch nicht schwer. In der Praxis aber fragwürdige Bedrohungslage.

Fallstudie: Post-Quanten Kryptographie

Für Quantencomputer ist Problem X theoretisch nicht schwer. In der Praxis aber fragwürdige Bedrohungslage.

Post-Quanten Krypto…

Fallstudie: Post-Quanten Kryptographie

Für Quantencomputer ist Problem X theoretisch nicht schwer. In der Praxis aber fragwürdige Bedrohungslage.

Post-Quanten Krypto...

- ... benötigt neuartige Annahmen

Fallstudie: Post-Quanten Kryptographie

CRYPTOGRAPHY

‘Post-Quantum’ Cryptography Scheme Is Cracked on a Laptop

6 |

Two researchers have broken an encryption protocol that many saw as a promising defense against the power of quantum computing.

Fallstudie: Post-Quanten Kryptographie

Für Quantencomputer ist Problem X theoretisch nicht schwer. In der Praxis aber fragwürdige Bedrohungslage.

Post-Quanten Krypto...

- ... benötigt neuartige Annahmen
- ... hat niedrige Effizienz

Fallstudie: Post-Quanten Kryptographie

Für Quantencomputer ist Problem X theoretisch nicht schwer. In der Praxis aber fragwürdige Bedrohungslage.

Post-Quanten Krypto...

- ... benötigt neuartige Annahmen
- ... hat niedrige Effizienz
- ... hat teilweise hohe Komplexität

Fallstudie: Post-Quanten Kryptographie

Für Quantencomputer ist Problem X theoretisch nicht schwer. In der Praxis aber fragwürdige Bedrohungslage.

Post-Quanten Krypto...

- ... benötigt neuartige Annahmen
- ... hat niedrige Effizienz
- ... hat teilweise hohe Komplexität

"Manche Leute scheinen nicht die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, dass die NSA Post-Quanten Krypto sabotiert".


MAN KANN NICHT EINFACH
BITCOIN QUANTENSICHER MACHEN
imgflip.com

Ausblick

Ausblick

- Bitcoin Kryptographie:
  - Weitere Fortschritte im Bereich Resilienz (z.B. Sicherheitsbeweise, bessere Spezifikationen, sicherer Code)

Ausblick

- Bitcoin Kryptographie:
  - Weitere Fortschritte im Bereich Resilienz (z.B. Sicherheitsbeweise, bessere Spezifikationen, sicherer Code)
  - Selbst mit Beschränkung auf heutige Annahmen sind signifikante Verbesserungen des Bitcoin Protokolls möglich

Ausblick

- Bitcoin Kryptographie:
  - Weitere Fortschritte im Bereich Resilienz (z.B. Sicherheitsbeweise, bessere Spezifikationen, sicherer Code)
  - Selbst mit Beschränkung auf heutige Annahmen sind signifikante Verbesserungen des Bitcoin Protokolls möglich
  - Was als sicher gilt, ändert sich im Lauf der Zeit und damit auch was konsensfaehig ist. Bitcoin Kryptographie

Ausblick

- Bitcoin Kryptographie:
  - Weitere Fortschritte im Bereich Resilienz (z.B. Sicherheitsbeweise, bessere Spezifikationen, sicherer Code)
  - Selbst mit Beschränkung auf heutige Annahmen sind signifikante Verbesserungen des Bitcoin Protokolls möglich
  - Was als sicher gilt, ändert sich im Lauf der Zeit und damit auch was konsensfaehig ist. Bitcoin Kryptographie
- Layer 2 Kryptographie:
  - Weites Feld mit vielen offenen Fragen für Theorie & Praxis

Folien auf nickler.ninja/slides