universität
innsbruck

Prinzipien von Blockchain-Systemen

Konzepte der Ethereum-Programmierung mit Solidity - Workshop

Michael Fröwis

Agenda

A. **Wiederholung: Ethereum**

B. Tools und Ressourcen

C. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

- Solidity Überblick
- Token-System und ERC20
- Kryptographischer Münzwurf

D. Hausaufgabe

E. (Wenn noch Zeit übrig) Interaktion, DAPPS, Fallstricke und Best Practices

UTXO-Modell versus Kontenmodell

Jargon: TX = Transaction, TXO = Transaction Output, UTXO = Unspent TXO

UTXO-Modell

- „Rechnet in Transaktionen“, Münzanalogie
- Benötigt Wechselgeld
- Outputs gliedern Transaktionen in kleinere, fest definierte Einheiten.
- Client-Datenhaltung optimiert zur Bestimmung der Neuheit von Outputs, jedoch keine Salden
- Wert ergibt sich aus Rückverfolgbarkeit jeder Einheit zur Coinbase-Transaktion.
- Nicht fungibel

bei Bitcoin im Einsatz

Kontenmodell

- „Rechnet in Konten“, Giralgeldanalogie
- Kein Wechselgeld nötig
- Transaktionen ähneln Nachrichten mit Empfängern und Parametern.
- Client schreibt Systemzustand fort und prüft Salden.
- Zähler zur Bestimmung der Neuheit.
- Wert ergibt sich aus Korrektheit aller Zustandsübergänge.
- Fungibilität möglich

bei Ethereum im Einsatz

Ethereum Virtual Machine (EVM)

Architektur
Jeder Ethereum-Knoten implementiert eine Turing-vollständige virtuelle Maschine mit

- stapelbasierter Architektur und
- Wortbreite 32 Byte (256 Bit).

Einbindung in die Transaktionslogik
Im Gegensatz zum UTXO-Modell von Bitcoin kann die EVM

- Zustandsübergänge im Rahmen der Nebenbedingungen frei definieren und
- den Zustandsraum erweitern.

Programmierung
Für die EVM existieren Hochsprachen: Solidity, LLL, Serpent (nicht empfohlen)

Warum wollen „Normalnutzer“ für die EVM programmieren [können]?

Kontentypen bei Ethereum

Ethereum unterscheidet zwei Typen von Konten (engl. *account*).

Parteien „besitzen“:

Externally Owned Account (EOA)

gesteuert durch Signierschlüssel

- Adresse
- Saldo (*balance*)
- Transaktionszähler (*nonce*)

Transaktionen referenzieren:

Code Account (CA)

gesteuert durch Programmlogik

- Adresse
- Bytecode
- Saldo (*balance*)
- Lokale Variablen (Zustand)
- Kind-CA-Zähler (*nonce*)

„Inter-Konten-Kommunikation“

Ethereum nutzt ein Nachrichtensystem zur Kommunikation zwischen Konten.
Abhängig vom Kontotyp werden die Nachrichten unterschiedlich bezeichnet.

EOAs lösen aus:

Transaktionen

- Empfänger
- Betrag
- Daten
- Gebühreninformation
- Digitale Signatur

in der Blockchain gespeichert

CAs lösen aus:

Message Calls

- Empfänger
- Betrag
- Daten
- Gebühreninformation

deterministische Folge von Transaktionen

Lebenszyklus von Code Accounts

Erstellen

- Die EVM interpretiert die Daten von Transaktionen ohne Empfängerangabe als Bytecode, führt ihn aus und speichert die Ausgabe als neuen Code Account.
- Deployment-Konvention: (Initialisierungs-Code‖Code‖Parameter)

Aufrufen

- Über Transaktionen und Message Calls, Parameter werden im Datenfeld übergeben

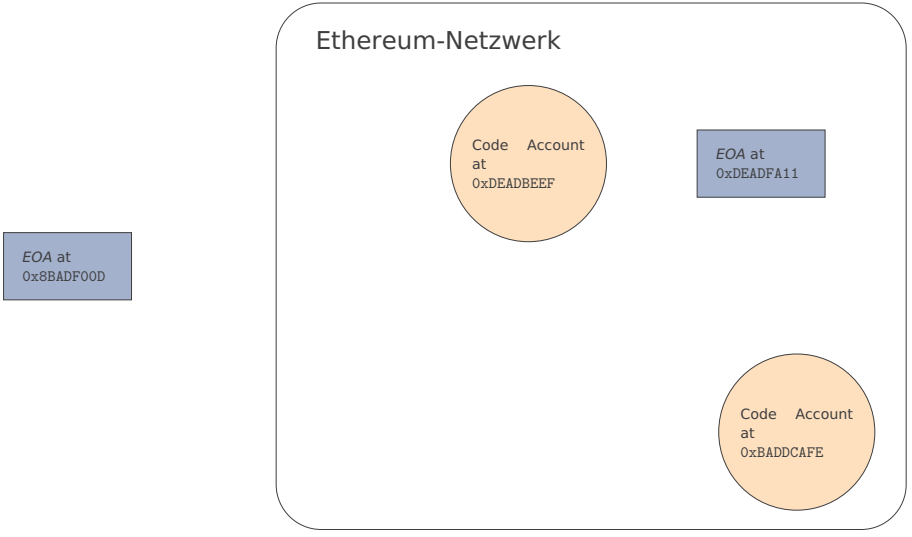
Aktualisieren

- Nicht vorgesehen → Workaround über Proxy-Pattern, falls erwünscht !

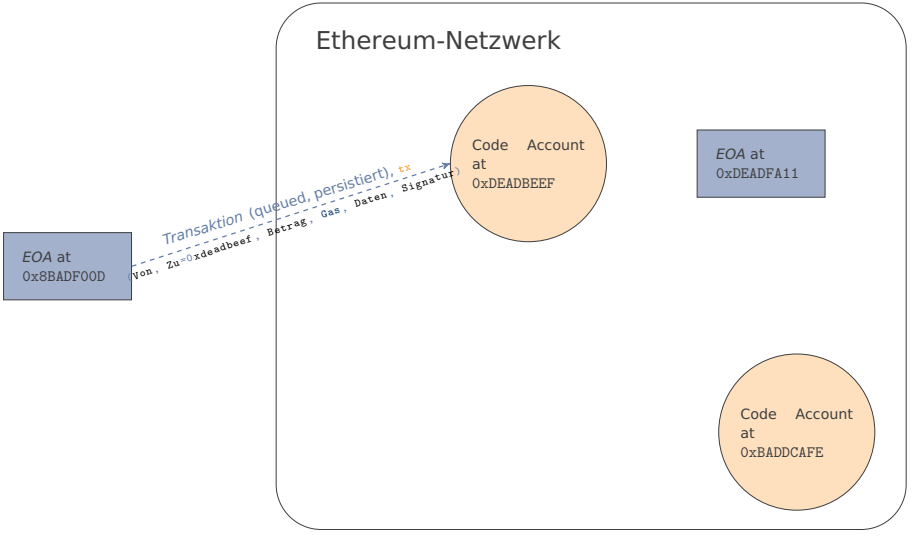
Löschen

- Nur über die EVM-Instruktion `SELFDESTRUCT`
- Danach erscheint die Adresse leer → Aufrufe geben `TRUE` ohne Seiteneffekt zurück!

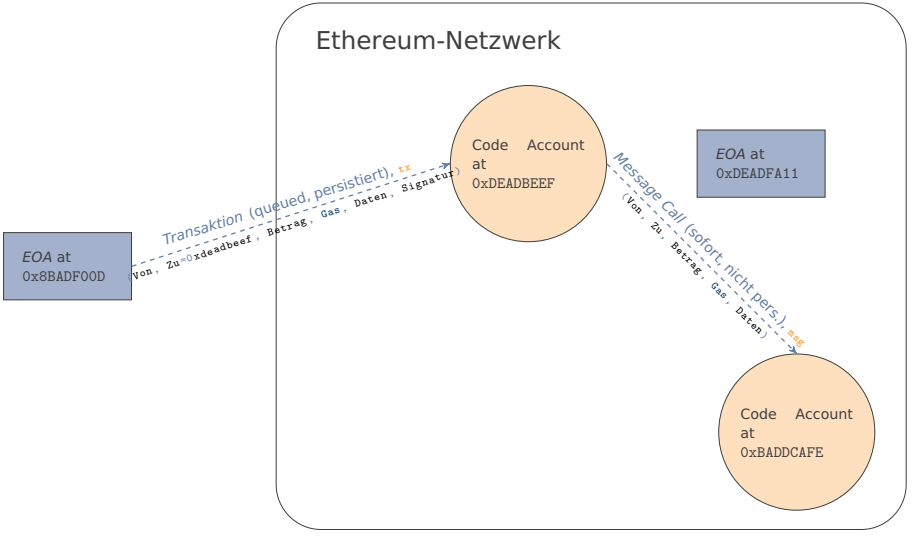
Ethereum Überblick – Entwicklersicht



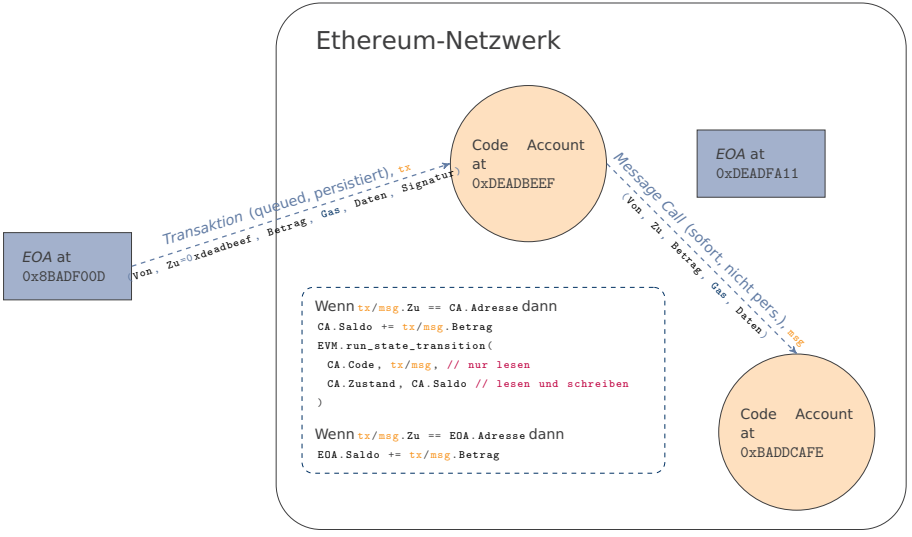
Ethereum Überblick – Entwicklersicht



Ethereum Überblick – Entwicklersicht



Ethereum Überblick – Entwicklersicht



Agenda

A. Wiederholung: Ethereum

B. **Tools und Ressourcen**

C. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

- Solidity Überblick
- Token-System und ERC20
- Kryptographischer Münzwurf

D. Hausaufgabe

E. (Wenn noch Zeit übrig) Interaktion, DAPPS, Fallstricke und Best Practices

Ressourcen

Workshop Git-Repository:

https://github.com/soad003/solidity_workshop

Soliditiy-Dokumentation:

Solidity, *Ethereum*, *Web3.js*

Design Patterns, Vorlagen und Beispiele:

Open-Zeppelin

Fragen and die Community:

Solidity Gitter Chat

Entwicklerwerkzeuge:

- *Remix IDE github*, *Remix IDE online*
- *Frameworks: Truffle*, *Embark*
- *Solidity Compiler*

Node-Implementierungen:

Parity, *Go-Ethereum*

Agenda

A. Wiederholung: Ethereum

B. Tools und Ressourcen

C. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

- **Solidity Überblick**
- Token-System und ERC20
- Kryptographischer Münzwurf

D. Hausaufgabe

E. (Wenn noch Zeit übrig) Interaktion, DAPPS, Fallstricke und Best Practices

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)
- Stark und statisch typisiert
- Balance zwischen Gas-Effizienz und Abstraktionsgrad
- Syntaktisch verwandt mit Java, C++, JavaScript, . . .
  (Kontrollstrukturen, Syntax, Abstraktionen etc.)

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)
- Stark und statisch typisiert
- Balance zwischen Gas-Effizienz und Abstraktionsgrad
- Syntaktisch verwandt mit Java, C++, JavaScript, . . .
  (Kontrollstrukturen, Syntax, Abstraktionen etc.)
- **Analogien**:

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)
- Stark und statisch typisiert
- Balance zwischen Gas-Effizienz und Abstraktionsgrad
- Syntaktisch verwandt mit Java, C++, JavaScript, . . .
  (Kontrollstrukturen, Syntax, Abstraktionen etc.)
- **Analogien**:

Class	Contract, definiert in Solidity
Instanz	Code Account auf der Blockchain
RPC-Aufruf	*Transaktion*/*Message Call* mit Code Account Empfänger *(Datenfeld spezifiziert Funktion und Parameter)*

→ **Notiz:** die folgenden Codespiele wurden mit `solc v0.6.4` getested.

Struktur eines Contracts

```
// SPDX-License-Identifier: GPL-3.0
pragma solidity ^0.6.4;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    constructor(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    fallback() external { revert(); }
}
```

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

Version pragma:
verwende Compiler-Version

```
// S
pragma solidity ^0.6.4;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    constructor(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    fallback() external { revert(); }
}
```

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

Contract Definition

```
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    constructor(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    fallback() external { revert(); }
}
```

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

Zustandsvariablen
Log-Definitionen: Events
Typ-Definitionen: Enums, Structs

```
// SPDX
pragma
contrac
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    constructor(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    fallback() external { revert(); }
}
```

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

```
// SPDX-License-Identifier: GPL-3.0
pragma solidity ^0.6.4;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (
    event Sen                                                    to, uint amount);

    constructor(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    fallback() external { revert(); }
}
```

Konstruktor:
wird beim Deployment ausgeführt

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

```
// SPDX-License-Identifier: GPL-3.0
pragma solidity ^0.6.4;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(a                                    , uint amount);

    constructor(                                    nter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    fallback() external { revert(); }
}
```

Funktionsdefinitionen:
selektiert anhand `tx/msg.Daten`

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

```
// SPDX-License-Identifier: GPL-3.0
pragma solidity ^0.6.4;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    constructor(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[m
        balances[r
        Sent(msg.s
        return tru
    }

    fallback() external { revert(); }
}
```

Fallback-Funktion:
Wenn keine Funktion in `tx`/`msg` spezifiziert oder Funktion nicht vorhanden

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Contract: `this`, `selfdestruct(<address>)`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Contract: `this`, `selfdestruct(<address>)`

Math: `addmod(x, y, k)`, `mulmod(x, y, k)`, `sha3(...)` = `keccak256(...)`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Contract: `this`, `selfdestruct(<address>)`

Math: `addmod(x, y, k)`, `mulmod(x, y, k)`, `sha3(...)` = `keccak256(...)`

Validierung/Fehler: `require(<condition>)`, `assert(<condition>)`, `revert()`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`,
`block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Contract: `this`, `selfdestruct(<address>)`

Math: `addmod(x, y, k)`, `mulmod(x, y, k)`, `sha3(...)` = `keccak256(...)`

Validierung/Fehler: `require(<condition>)`, `assert(<condition>)`, `revert()`

Pseudo-Contracts: `ecrecover(hash, v, r, s)`, `ripemd160(...)`, `sha256(...)`

Funktionen und Modifier

Beispiel:

```
//function <ident>?(<param>*) <sichtbarkeit | annotationen | modifier> returns (<
    typ>*){}

modifier only(address owner) {
  if(msg.sender == owner) _;      // _; wird mit Funktionsdefinition ersetzt
}

function withdraw() only(0xdeadbeef) { owner.transfer(this.balance); }
function withdraw(uint v) only(0xdeadbeef) { owner.transfer(this.balance) } //
    Ueberladen

function foo(uint bar, uint baz) public pure returns (uint bar_p, uint baz_p){
  return (bar / baz, bar % baz);  // = bar_p = bar / baz; baz_p = bar % baz;
}
```

Funktions-Annotationen

Modifier	`payable` oder `modifier` definiert im `contract`
Sichtbarkeit	public, private, external, internal
Annotationen	Forciert `payable`, nicht forciert `pure`, `view`, `constant` = `view`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
bool x = true && false;
uint y = 0xa;
bytes32 d = 0xdeadbeef;
uint z = y + address(x);  // Fehler! Cast bool -> address nicht erlaubt ...
uint z = uint(d[0]);      // Mit explizitem Cast
address a = address(z);   // Cast uint -> address
```

Wertetypen

Boolean `bool`, *Operatoren:* `!`, `&&`, `||`, `==`, `!=`

Integer `uint8`, `uint16`, `...`, `uint248`, `uint256` = `uint`, `int8`, `...`, `int256` = `int`

Operatoren: `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`, `&`, `|`, `^`, `~`, `+`, `-`, `*`, `/`, `%`, `**`, `<<`, `>>`

bytesN `byte` = `bytes1`, `bytes2`, `...`, `bytes32`, fixed-size Array mit byte-weise Zugriff

Operatoren: `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`, `&`, `|`, `^`, `~`, `<<`, `>>`, `[N]`

Member: `x.length`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
bool x = true && false;
uint y = 0xa;
bytes32 d = 0xdeadbeef;
uint z = y + address(x);  // Fehler! Cast bool -> address nicht erlaubt ...
uint z = uint(d[0]);      // Mit explizitem Cast
address a = address(z);   // Cast uint -> address
```

Wertetypen

Boolean `bool`, *Operatoren:* `!`, `&&`, `||`, `==`, `!=`

Integer `uint8`, `uint16`, `...`, `uint248`, `uint256` = `uint`, `int8`, `...`, `int256` = `int`

Operatoren: `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`, `&`, `|`, `^`, `~`, `+`, `-`, `*`, `/`, `%`, `**`, `<<`, `>>`

bytesN `byte` = `bytes1`, `bytes2`, `...`, `bytes32`, fixed-size Array mit byte-weise Zugriff

Operatoren: `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`, `&`, `|`, `^`, `~`, `<<`, `>>`, `[N]`

Member: `x.length`

→ Keine Unterstützung für Gleitkommazahlen, Festkomma-typ ab v0.5.0: `fixedMxN`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address payable private constant shareit = address(0xdeadbeef);;

  fallback() external payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address payable private constant shareit = address(0xdeadbeef);;

  fallback() external payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

Modifizierer für Zustandsvariablen:

`public` , `private` , `internal` , `constant`

```
contract BurnShar
  enum Action {sh
  Action public take = Action.share;
  address payable private constant shareit = address(0xdeadbeef);;

  fallback() external payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address payable private constant shareit = address(0xdeadbeef);
  function() external payable {
    if(take == Action.share)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Erstellt Message Call:

`(Von=this, Zu=0xdeadbeef, Betrag=10^18 wei, Gas=2300, Daten="")`

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address payable private constant shareit = address(0xdeadbeef);;

  fallback() external payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Transaktion an 0x0, „verbrennt“ Ether.

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address payable private constant shareit = address(0xdeadbeef);;

  fallback() external payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

→ `send`, `call`, `delegatecall` bieten mehr Kontrolle über *Message Call* als `transfer`.

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mappings und Strukturen):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup_address(string memory s) public view returns (address) {
    return r[s].where;
  }

  function Reg(string memory s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mappings und Strukturen):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, locked}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup_address(string memory s) public view returns (address) {
    return r[s].where;
  }

  function Reg(string memory s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Struktur mit zwei Feldern

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mappings und Strukturen):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup_address(string memory s) public view returns (address) {
    return r[s].where;
  }

  function Reg(string memory s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mappings und Strukturen):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup_address(string memory s) public view returns (address) {
    return r[s].where;
  }

  function Reg(string memory s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mappings und Strukturen):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup_address(string memory s) public view returns (address) {
    return r[s].where;
  }

  function Reg(string memory s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mappings und Strukturen):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup_address(string memory s) public view returns (address) {
    return r[s].where;
  }

  function Reg(string memory s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Arrays):

```
contract Registry2 {
  address[] participants;

  function Enroll() payable public {
    if(msg.value > 1000 wei)
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
     arr.push(item);
  }
}
```

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (

Erstellt dynamisches storage Array.
statisch: `address[8] participants`

```
contract [illegible] {
  address[] participants;

  function Enroll() payable public {
    if(msg.value > 1000 wei)
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
     arr.push(item);
  }
}
```

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Arrays):

```
contract Registry2 {
  address[] participants;

  function Enroll() payab
    if(msg.value > 1000 w
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
     arr.push(item);
  }
}
```

Aufruf mit storage Referenz.
Keine *Message Call*, lokaler Aufruf!

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Arrays):

```
contract Registry2 {
  address[] participants;

  function Enroll() payable public {
    if(msg.value > 1000 wei)
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
    arr.push(item);
  }
}
```

Storage Qualifizierer um Kopie zu verhindern.

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Arrays):

```
contract Registry2 {
  address[] participants;

  function Enroll() payable public {
    if(msg.value > 1000 wei)
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
     arr.push(item);
  }
}
```

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push` (push nur bei storage Arrays!)

→ Storage und Memory Qualifizierer nur bei Referenztypen.

Fehlerbehandlung

Exceptions ...

- ... setzen Code Account-Zustand vor der *Transaktion*/dem *Message Call* zurück.

Fehlerbehandlung

Exceptions ...

- ... setzen Code Account-Zustand vor der *Transaktion*/dem *Message Call* zurück.
- ... können nur vom Aufrufer behandelt werden.

Fehlerbehandlung

Exceptions ...

- ... setzen Code Account-Zustand vor der *Transaktion*/dem *Message Call* zurück.
- ... können nur vom Aufrufer behandelt werden.
- ... können vor `v0.6.0` nicht behandelt werden.
  (Ausnahme über low-level calls!)

Fehlerbehandlung

Exceptions ...

- ... setzen Code Account-Zustand vor der *Transaktion*/dem *Message Call* zurück.
- ... können nur vom Aufrufer behandelt werden.
- ... können vor `v0.6.0` nicht behandelt werden.
  (Ausnahme über low-level calls!)
- ... können ab `v0.6.0` mit `try/catch` behandelt werden.

Exception-Typen

assert für interne Fehler, Zustände die nie erreicht werden können/dürfen
(Exception braucht Gas auf)

```
assert(balances[msg.sender] >= 0)
```

require für Eingabevalidierung etc.
(Gas wird nicht verbraucht, Ab Byzantium HF, Okt 17)

```
require(msg.sender == owner), throw, revert()
```

Agenda

A. Wiederholung: Ethereum

B. Tools und Ressourcen

C. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

- Solidity Überblick
- **Token-System und ERC20**
- Kryptographischer Münzwurf

D. Hausaufgabe

E. (Wenn noch Zeit übrig) Interaktion, DAPPS, Fallstricke und Best Practices

Was ist ein Token-System ?

Token: Jargon für handelbares virtuelles Gut, fungibel oder nicht-fungibel.

Was ist ein Token-System ?

Token: Jargon für handelbares virtuelles Gut, fungibel oder nicht-fungibel.

Was ist ein Token-System ?

Token: Jargon für handelbares virtuelles Gut, fungibel oder nicht-fungibel.

Token-System: *CA* verwaltet Besitzverhältnisse und Überweisungen.

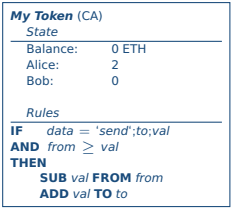
Was ist ein Token-System ?

Token: Jargon für handelbares virtuelles Gut, fungibel oder nicht-fungibel.

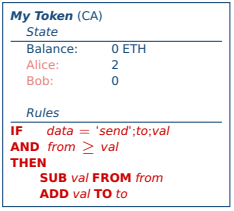
Token-System: *CA* verwaltet Besitzverhältnisse und Überweisungen.

Use-cases: Virtuelle Wärungen, Crowdfunding, Anteilsscheine, Wahlstimmen . . .

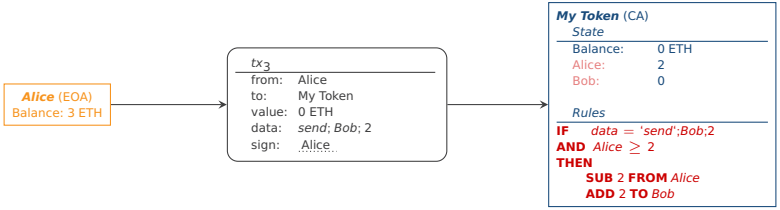
Wie funktioniert ein Token-System ?



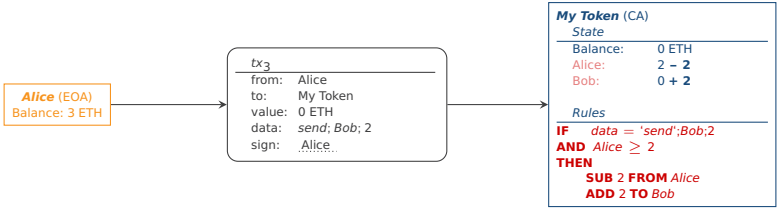
Wie funktioniert ein Token-System ?



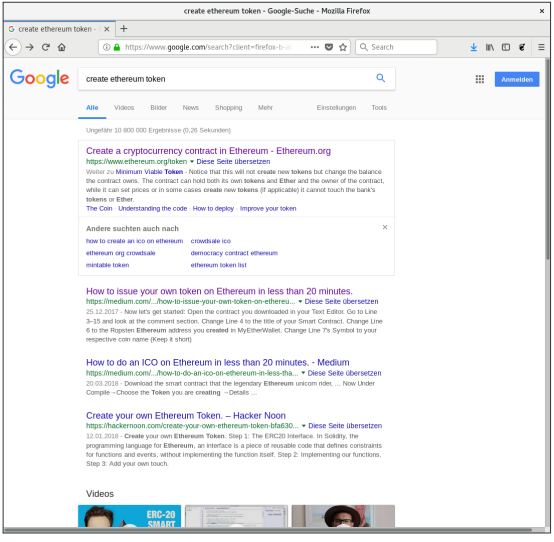
Wie funktioniert ein Token-System ?



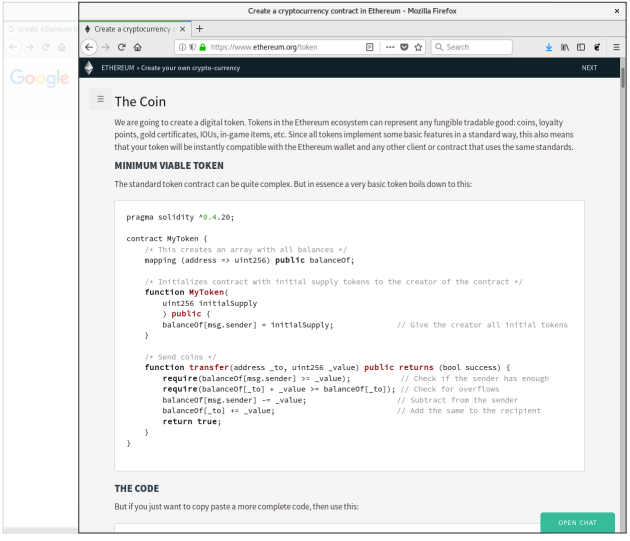
Wie funktioniert ein Token-System ?



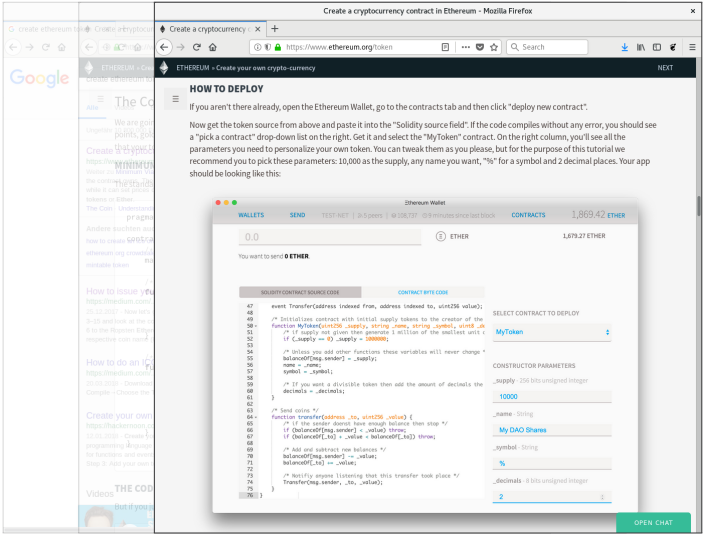
Wie erstellt man ein Token-System ?



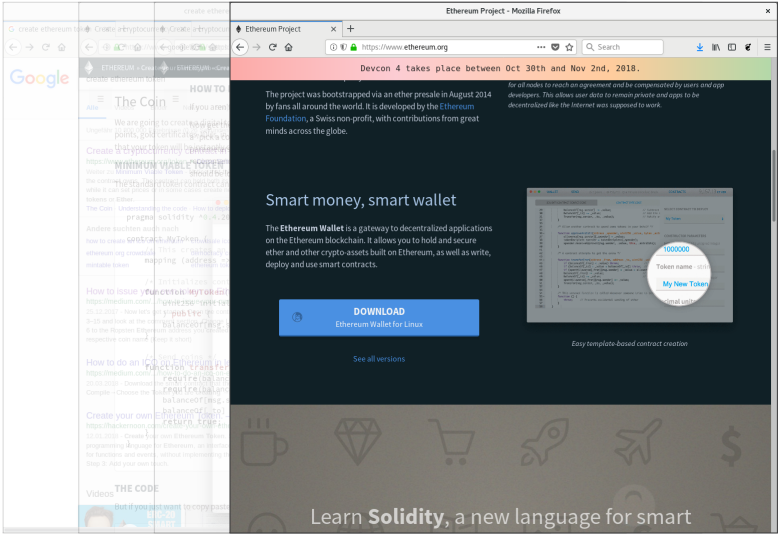
Wie erstellt man ein Token-System ?



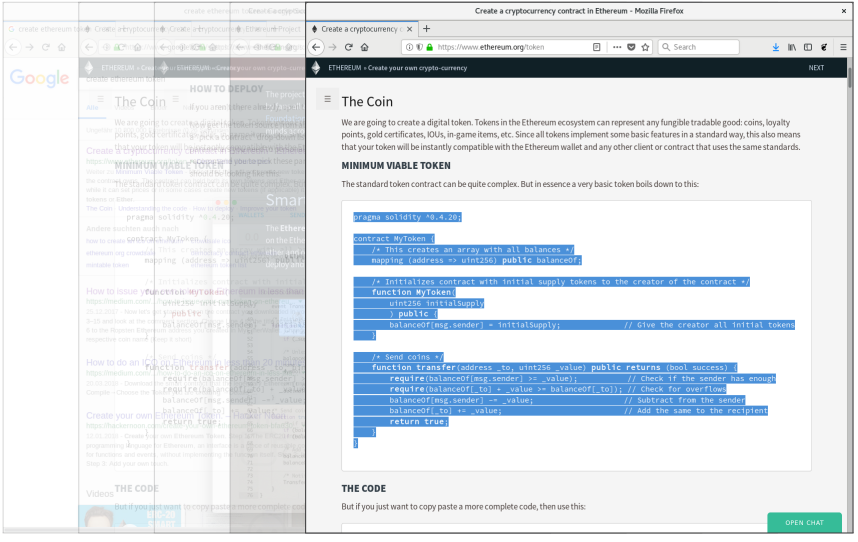
Wie erstellt man ein Token-System ?



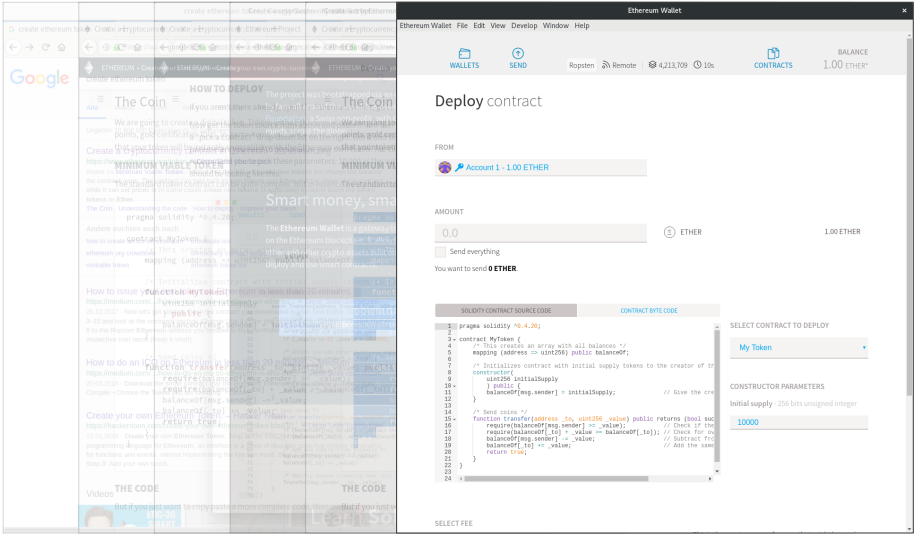
Wie erstellt man ein Token-System ?



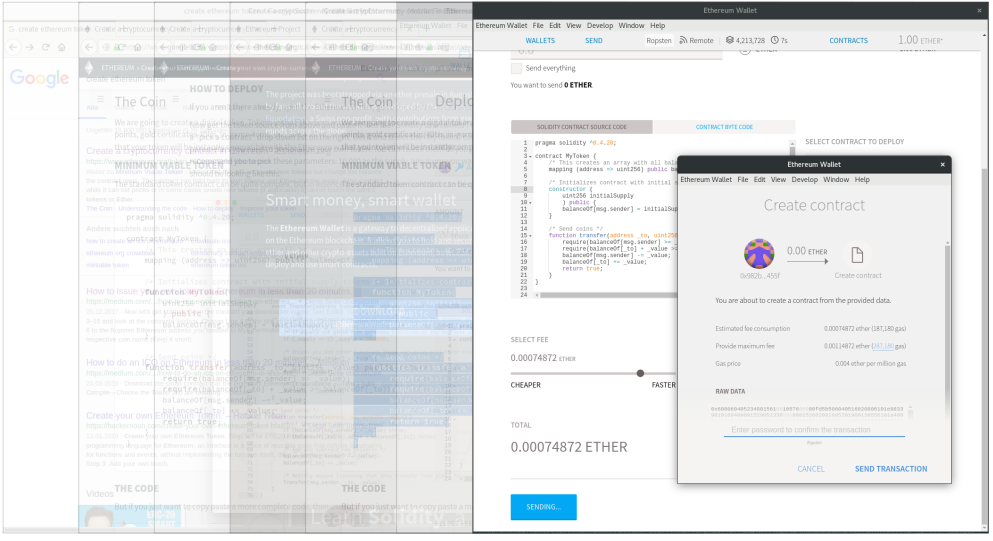
Wie erstellt man ein Token-System ?



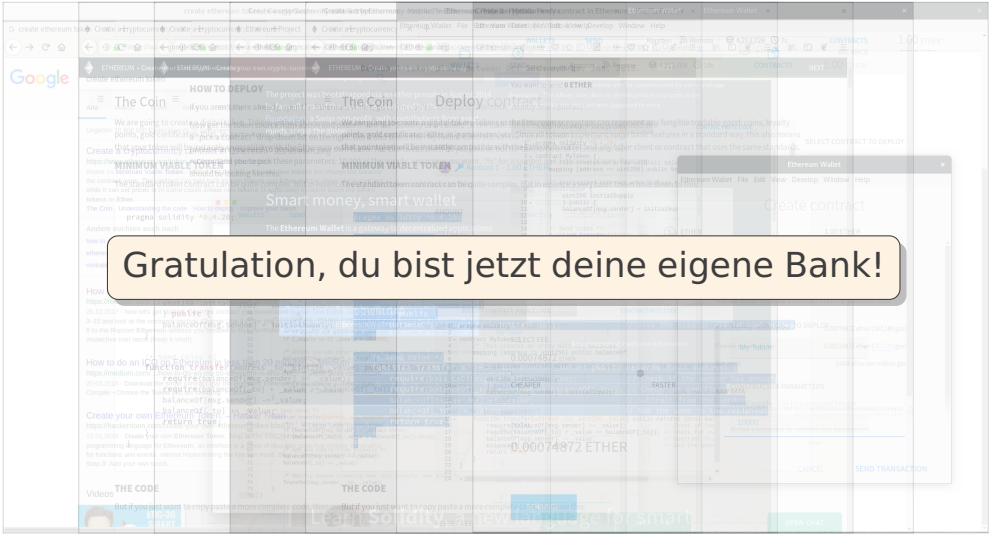
Wie erstellt man ein Token-System ?



Wie erstellt man ein Token-System ?



Wie erstellt man ein Token-System ?



Demo

Token Implementierung mit Remix

Agenda

A. Wiederholung: Ethereum

B. Tools und Ressourcen

C. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

- Solidity Überblick
- Token-System und ERC20
- **Kryptographischer Münzwurf**

D. Hausaufgabe

E. (Wenn noch Zeit übrig) Interaktion, DAPPS, Fallstricke und Best Practices

Beispiel

Alice und Bob schließen einen Vertrag:

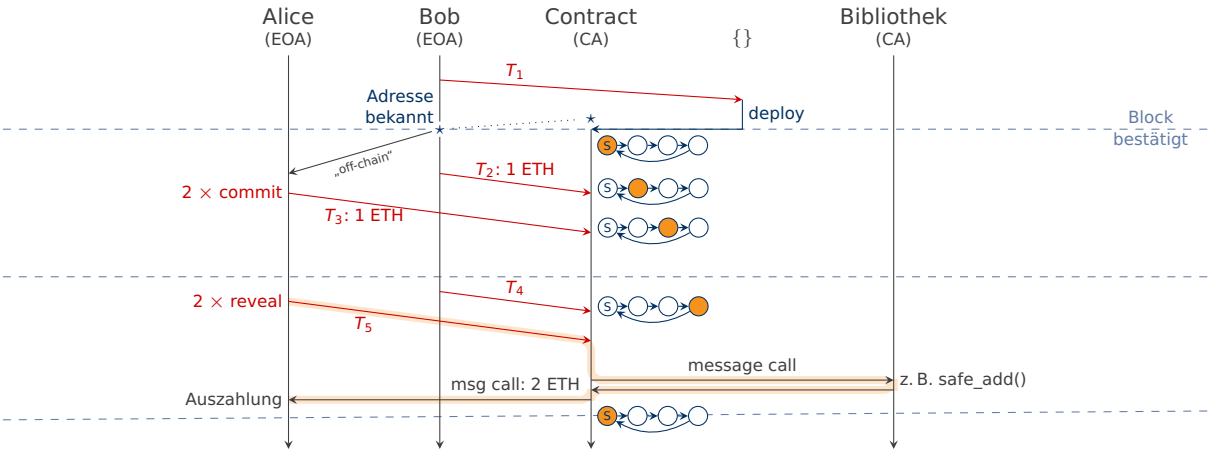
„Wir werfen die Münze. Der Gewinner bekommt vom Verlierer ein Geldstück.“

Bemerkungen

- Juristisch liegt ein Vertrag vor, sobald zwei Willenserklärungen abgegeben wurden. Ob dies nachweisbar oder durchsetzbar ist, spielt zunächst keine Rolle.
- Wir kennen eine Methode (kryptographische Commitments), um den Münzwurf gerecht und ohne dritte Partei über ein Rechnernetz durchzuführen.
- Das reicht aber nicht aus um sicherzustellen, dass der Verlierer tatsächlich zahlt.
- Dieser Vertrag lässt sich in einem Blockchain-System abbilden, sodass die Zahlung (in Einheiten eines virtuellen Guts) nach dem Wurf unabwendbar ist.

Beispiel

Alice und Bob möchten durchsetzbar eine Münze werfen.



Demo

Münzwurf Implementierung mit Remix

Agenda

A. Wiederholung: Ethereum

B. Tools und Ressourcen

C. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

- Solidity Überblick
- Token-System und ERC20
- Kryptographischer Münzwurf

D. **Hausaufgabe**

E. (Wenn noch Zeit übrig) Interaktion, DAPPS, Fallstricke und Best Practices

Demo

Hausaufgabe

Fragen?

Bitte nicht zögern.

Fragen?

Bitte nicht zögern.

→ Wer sich mehr mit dem Thema befassen will: Wir bieten Bachelorarbeiten an.

Agenda

A. Wiederholung: Ethereum

B. Tools und Ressourcen

C. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

- Solidity Überblick
- Token-System und ERC20
- Kryptographischer Münzwurf

D. Hausaufgabe

E. **(Wenn noch Zeit übrig) Interaktion, DAPPS, Fallstricke und Best Practices**

Appendix

Interaktion, DAPPS, Fallstricke

Interaktion – Kind-CAs

Beispiel:

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";

contract CoinFactory is Destructible, Payed{

    function CoinFactory(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function CreateCoin() public payable fee(1 ether) returns (address) {
        return new Coin(msg.sender);
    }
}
```

Anmerkung

Gesamter Code von `Coin` wird in `CoinFacotry` Code Account gespeichert. Potenziell hohe Gas-Kosten.

Interaktion – Kind-CAs

Beispiel:

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";

contract CoinFactory is Destructible, Payed{

    fun
                    new erstellt Message Call
        (Von=this, Zu=null, ..., Daten = <Code of Coin> | owner)
    fun                                                    ress) {
        return new Coin(msg.sender);
    }
}
```

Anmerkung

Gesamter Code von `Coin` wird in `CoinFacotry` Code Account gespeichert. Potenziell hohe Gas-Kosten.

Interaktion – Kind-CAs

Beispiel:

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";

contract CoinFactory is Destructible, Payed{

    function CoinFactory(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function CreateCoin() public payable fee(1 ether) returns (address) {
        return new Coin(msg.sender);
    }
}
```

Anmerkung

Gesamter Code von `Coin` wird in `CoinFacotry` Code Account gespeichert. Potenziell hohe Gas-Kosten.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function CoinWalletBad(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coi

    function CoinWalletBad(address _o

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Coins per Minter gruppieren und registrieren.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function

    function
        bytes
        bool
        addre
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Lesen von low-level call Rückgabewerten benötigt Assembly …

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function CoinWalletBad(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function CoinWalletBad(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout,
            ok := call(g,                                    ak256("minter()")));
            minter := mlo
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage
        owners_coins.push
    }
    function Mint_all(add
        address[] storage
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++)
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Bietet volle Kontrolle über den erstellten *Message Call* und Fehlerbehandlung!
Ab v0.6.0 Interface und try/catch verwenden!

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function CoinWalletBad(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (besser: Interfaces):

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";
contract CoinWallet is Payed {
    mapping(address => Coin[]) coins;
    function CoinWallet(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(Coin _new) fee(1 ether) payable public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[_new.minter()];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            owners_coins[i].mint. gas(30000)(to, val);
        }
    }
}
```

Anmerkungen

Einschränkung Interface: Vor `v0.6.0` kann auf Fehler im Callee nicht reagiert werden!

→ Keine Typprüfung zur Laufzeit! Nur Typprüfung gegen Interface. Ab Solidity `0.4.0` wird geprüft, ob Adresse Code enthält.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (besser: Interfaces):

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";
contract CoinWallet is Payed {
    mapping(address => Coin[]) coins;
    function CoinWallet(address _owner)

    function RegCoin(Coin _new) fee(1 et
        Coin[] storage owners_coins = coins[_new.minter()];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            owners_coins[i].mint. gas(30000)(to, val);
        }
    }
}
```

Compiler verwendet Interface-Definition um *Message Call* zu erstellen und den Rückgabewert zu „parsen“.

Anmerkungen

Einschränkung Interface: Vor `v0.6.0` kann auf Fehler im Callee nicht reagiert werden!

→ Keine Typprüfung zur Laufzeit! Nur Typprüfung gegen Interface. Ab Solidity `0.4.0` wird geprüft, ob Adresse Code enthält.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (besser: Interfaces):

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";
contract CoinWallet is Payed {
    mapping(address => Coin[]) coins;
    function CoinWallet(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(Coin _new) fee(1 ether) payable public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[_new.minter()];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function M
        Coin[]                                                    r];
        for(ui
            owners_coins[i].mint.gas(30000)(to, val);
        }
    }
}
```

Gas und Betrag können wie bei low-level calls gesteuert werden.

Anmerkungen

Einschränkung Interface: Vor `v0.6.0` kann auf Fehler im Callee nicht reagiert werden!

→ Keine Typprüfung zur Laufzeit! Nur Typprüfung gegen Interface. Ab Solidity `0.4.0` wird geprüft, ob Adresse Code enthält.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (besser: Interfaces):

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";
contract CoinWallet is Payed {
    mapping(address => Coin[]) coins;
    function CoinWallet(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(Coin _new) fee(1 ether) payable public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[_new.minter()];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            owners_coins[i].mint. gas(30000)(to, val);
        }
    }
}
```

Anmerkungen

Einschränkung Interface: Vor `v0.6.0` kann auf Fehler im Callee nicht reagiert werden!

→ Keine Typprüfung zur Laufzeit! Nur Typprüfung gegen Interface. Ab Solidity `0.4.0` wird geprüft, ob Adresse Code enthält.

Decentralized Application (W)

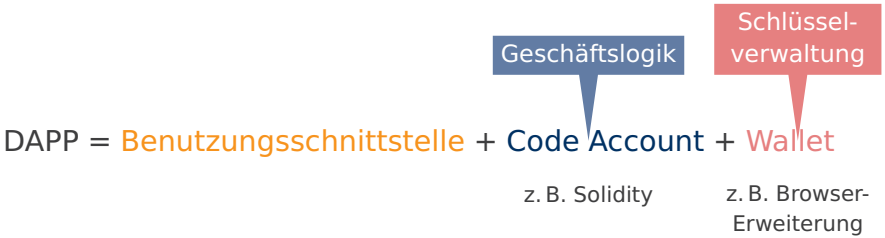
DAPP = Benutzungsschnittstelle + Code Account + Wallet

Decentralized Application (W)

Vertrauensanker

- Der Code Account regelt die Sicherheitsinteressen aller.

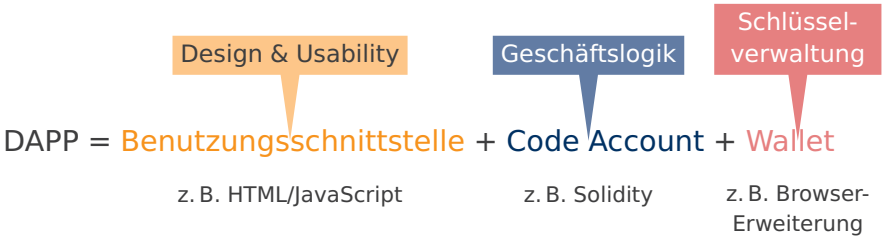
Decentralized Application (W)



Vertrauensanker

- Der Code Account regelt die Sicherheitsinteressen aller.
- Die Sicherheit des Wallets ist notwendig für die eigene Sicherheit.

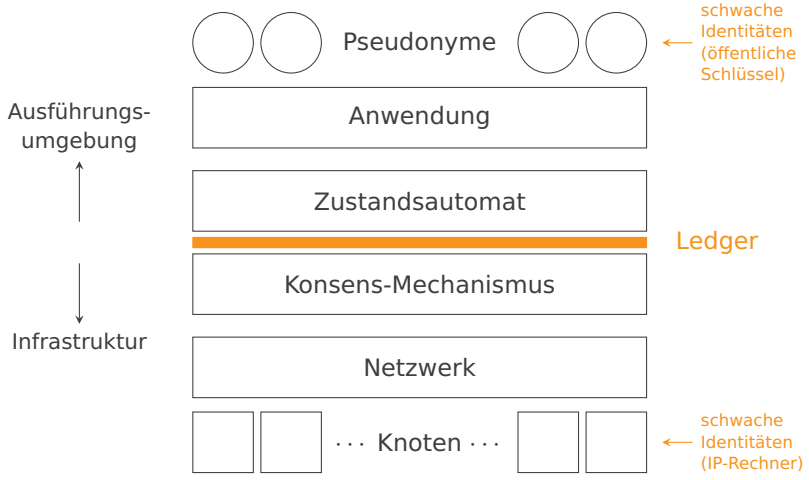
Decentralized Application (W)



Vertrauensanker

- Der Code Account regelt die Sicherheitsinteressen aller.
- Die Sicherheit des Wallets ist notwendig für die eigene Sicherheit.
- Die Benutzungsschnittstelle definiert die eigene Sicht auf die Interaktion. Sicherheitsrelevante Entscheidungen bedürfen korrekter Information.

Architektur für DAPPs auf Ethereum (W)



Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Code Account):

```
import "./Base.sol";
contract GotCoins is Payed {
    uint public totalReceived = 0;

    event GotNewCoins(address indexed lastHop, address indexed signer, uint
        howMuch);

    function GotCoins(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function() payable public {
      if(msg.value > 0) {
          emit GotNewCoins(msg.sender, tx.origin, msg.value);
          totalReceived += msg.value;
      }
    }
}
```

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Code Account):

```
import "./Base.sol";
contract GotCoins is Payed
    uint public totalReceiv

    event GotNewCoins(address indexed lastHop, address indexed signer, uint
        howMuch);

    function GotCoins(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function() payable public {
      if(msg.value > 0) {
          emit GotNewCoins(msg.sender, tx.origin, msg.value);
          totalReceived += msg.value;
      }
    }
}
```

`indexed`

Nodes erstellen Index für dieses Feld. Effizienter Zugriff auf historische Logeinträge.

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Code Account):

```
import "./Base.sol";
contract GotCoins is Payed {
    uint public totalReceived = 0;

    event GotNewCoins(address indexed lastHop, address indexed signer, uint
        howMuch);

    function GotCoins(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function() paya
      if(msg.value
          emit GotNewCoins(msg.sender, tx.origin, msg.value);
          totalReceived += msg.value;
      }
    }
}
```

Schreibe Logeintrag.

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaScript, Web3.js):

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type":"event" ,"inputs":[...],}, ...];
var gotcoinsContract = web3.eth.contract(abi).at('0xdeadbeef');

gotcoinsContract.methods.totalReceived.call().then(res => {
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('2000000000000000000'))) return;

      var gotCoinsEvent = gotcoinsContract.GotNewCoins({},
                                                {fromBlock: 0, toBlock: 'latest'})
                                                    ;
      gotCoinsEvent.watch((error, result) =>
                          console.log("Got Coins!" + result + ":" + result.args));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaS

Event-Handler registrieren wenn `totalReceived >= 2 ether`.
Keine *Transaktion* nötig!
Call fragt lokalen Zustand ab.

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type"
var gotcoinsContract = web3.eth.contract

gotcoinsContract.methods.totalReceived.call().then(res => {
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('2000000000000000000'))) return;

      var gotCoinsEvent = gotcoinsContract.GotNewCoins({},
                                                {fromBlock: 0, toBlock: 'latest'})
                                                    ;
      gotCoinsEvent.watch((error, result) =>
                          console.log("Got Coins!" + result + ":" + result.args));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaScript, Web3.js):

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type":"event" ,"inputs":[...],}, ...];
var gotcoinsContract = web3.eth.contrac

gotcoinsContract.methods.totalReceived.
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('200

      var gotCoinsEvent = gotcoinsContract.GotNewCoins({},
                                                {fromBlock: 0, toBlock: 'latest'})
                                                    ;
      gotCoinsEvent.watch((error, result) =>
                          console.log("Got Coins!" + result + ":" + result.args));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Event-Handler anhand ABI (*Application Binary Interface*) registrieren.

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaScript, Web3.js):

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type":"event" ,"inputs":[...],}, ...];
var gotcoinsContract = web3.eth.contract(abi).at('0xdeadbeef');

gotcoinsContract.methods.totalReceived.call().then(res => {
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('2000000000000000000'))) return;

      var gotCoinsEvent = gotcoinsCon                                  est'})

      gotCoinsEvent.watch((error, res
                           console.log                                 rgs));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Transaktion erstellen, um Event auszulösen.
Transaktion nötig!
Änderung des geteilten Zustandes.

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

→ Nebenläufigkeit beachten wenn Aktionen aufgrund von Zustand ausgeführt werden!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaScript, Web3.js):

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type":"event" ,"inputs":[...],}, ...];
var gotcoinsContract = web3.eth.contract(abi).at('0xdeadbeef');

gotcoinsContract.methods.totalReceived.call().then(res => {
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('2000000000000000000'))) return;

      var gotCoinsEvent = gotcoinsContract.GotNewCoins({},
                                                {fromBlock: 0, toBlock: 'latest'})
                                                    ;
      gotCoinsEvent.watch((error, result) =>
                          console.log("Got Coins!" + result + ":" + result.args));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

→ Nebenläufigkeit beachten wenn Aktionen aufgrund von Zustand ausgeführt werden!

Fallstricke

Achtung!

Alle Berechnungen sind deterministisch und alle Informationen sind öffentlich.

Fallstricke

Achtung!

Alle Berechnungen sind deterministisch und alle Informationen sind öffentlich.

Implikationen

- Als `private` gekennzeichnete Felder können nicht direkt von anderen Code Account gelesen werden, sind aber für jeden Node einsehbar.
  (Kryptographische Commitment Protokolle!)

Fallstricke

Achtung!

Alle Berechnungen sind deterministisch und alle Informationen sind öffentlich.

Implikationen

- Als `private` gekennzeichnete Felder können nicht direkt von anderen Code Account gelesen werden, sind aber für jeden Node einsehbar.
  (Kryptographische Commitment Protokolle!)
- Da alle Berechnungen deterministisch sind existiert kein echter Zufall in Ethereum.
  (Bootstrapping von Zufallszahlen schwierig. Oft werden TTP verwendet.)

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der Code Account Ausführung beeinflussen.

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der Code Account Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der Code Account Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)
- `block.blockhash(n)` kann zu einem gewissen Maße vom Miner beeinflusst werden.
  (Verwendet z.b. als PRNG seed. Nicht einfach voraussehbar, aber kein Zufall!)

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der Code Account Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)
- `block.blockhash(n)` kann zu einem gewissen Maße vom Miner beeinflusst werden.
  (Verwendet z.b. als PRNG seed. Nicht einfach voraussehbar, aber kein Zufall!)
- Miner können eigene Transaktionen an beliebigen stellen im Block einfügen, sie bestimmen die Ausführungsreihenfolge der Transaktionen.

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der Code Account Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)
- `block.blockhash(n)` kann zu einem gewissen Maße vom Miner beeinflusst werden.
  (Verwendet z.b. als PRNG seed. Nicht einfach voraussehbar, aber kein Zufall!)
- Miner können eigene Transaktionen an beliebigen stellen im Block einfügen, sie bestimmen die Ausführungsreihenfolge der Transaktionen.

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der Code Account Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)
- `block.blockhash(n)` kann zu einem gewissen Maße vom Miner beeinflusst werden.
  (Verwendet z.b. als PRNG seed. Nicht einfach voraussehbar, aber kein Zufall!)
- Miner können eigene Transaktionen an beliebigen stellen im Block einfügen, sie bestimmen die Ausführungsreihenfolge der Transaktionen.

Implikationen

- Miner können die Ausführung von CAs beeinflussen: gezieltes Anpassen von `block.timestamp`, `block.blockhash(n)` oder durch Einfügen von neuen Transaktionen bzw. Änderungen der Reihenfolge.

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Hintergrund

- Code Account und *EOA* sollen nicht unterschieden werden. Das Verhalten bei Überweisungen ist jedoch unterschiedlich.

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Hintergrund

- Code Account und *EOA* sollen nicht unterschieden werden. Das Verhalten bei Überweisungen ist jedoch unterschiedlich.
- Standard-Überweisungen werden mit `x.transfer(value)` oder `x.send(value)` ausgeführt. *Message Call*: `(Von=this, Zu=x, Betrag=value, Gas=2300, Daten="").`

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Hintergrund

- Code Account und *EOA* sollen nicht unterschieden werden. Das Verhalten bei Überweisungen ist jedoch unterschiedlich.
- Standard-Überweisungen werden mit `x.transfer(value)` oder `x.send(value)` ausgeführt. *Message Call*: `(Von=this, Zu=x, Betrag=value, Gas=2300, Daten="").`
- Ist `x` ein Code Account, dann wird die Fallback-Funktion ausgeführt. Dies schlägt z. B. fehl, wenn die Fallback-Funktion mehr als `2300` Gas benötigt.

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Hintergrund

- Code Account und *EOA* sollen nicht unterschieden werden. Das Verhalten bei Überweisungen ist jedoch unterschiedlich.
- Standard-Überweisungen werden mit `x.transfer(value)` oder `x.send(value)` ausgeführt. *Message Call*: `(Von=this, Zu=x, Betrag=value, Gas=2300, Daten="").`
- Ist `x` ein Code Account, dann wird die Fallback-Funktion ausgeführt. Dies schlägt z. B. fehl, wenn die Fallback-Funktion mehr als `2300` Gas benötigt.

Implikationen

- Sender und/oder Empfänger können blockiert werden.
  (Bis zur Handlungsunfähigkeit.)

Fallstricke

Beispiel (blockierter CA):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Ein nicht trivialer fallback reicht um den CA zu blockieren
          toPay[i].transfer(1 ether);
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (blockierter CA):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Ein nicht trivialer fallback reicht um den CA zu blockieren
          toPay[i].transfer(1 ether);
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (blockierter CA):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Ein nicht trivialer fallback reicht um den CA zu blockieren
          toPay[i].transfer(1 ether);
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (Wiedereintritt):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Caller kann mehr Gas einsetzen um nicht triviale fallbacks zu
               erlauben
          // revert() ist immer noch ein Problem
          var ok = toPay[i].call.value(1 ether)();
          if(!ok) revert();
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (Wiedereintritt):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Caller kann mehr Gas einsetzen um nicht triviale fallbacks zu
               erlauben
          // revert() ist immer noch ein Problem
          var ok = toPay[i].call.value(1 ether)();
          if(!ok) revert();
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (Wiedereintritt):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    ctr++;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-Enter Victim!
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          var ok = toPay[i].call.value(1 ether)();
          if(!ok) revert();
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (Wiedereintritt):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    ctr++;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-Enter Victim!
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          var ok = toPay[i].call.value(1 ether)();
          if(!ok) revert();
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (besser: checks → effects → interaction, pull):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-enter victim!
    ctr++;
  }
}
contract victim {
  enum State { NotRegistered, Pay, Payed }
  mapping(address => State) toPay;

  function payout_pull() public {
      var userState = toPay[msg.sender];
      require(userState == State.Pay);          // Checks
      toPay[msg.sender] = State.Payed;          // Effects
      msg.sender.transfer(1 ether);             // Interaction
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (besser: checks → effects → interaction, pull):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-enter victim!
    ctr++;
  }
}
contract victim {
  enum State { NotRegistered, Pay, Payed }
  mapping(address => State) toPay;

  function payout_pull() public {
      var userState = toPay[msg.sender];
      require(userState == State.Pay);          // Checks
      toPay[msg.sender] = State.Payed;          // Effects
      msg.sender.transfer(1 ether);             // Interaction
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (besser: checks → effects → interaction, pull):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-enter Victim!
    ctr++;
  }
}
contract victim {
  enum State { NotRegistered, Pay, Payed }
  mapping(address => State) toPay;

  function payout_pull() public {
      var userState = toPay[msg.sender];
      require(userState == State.Pay);                  // Checks
      toPay[msg.sender] = State.Payed;                  // Effects
      if(!msg.sender.call.value(1 ether)()) revert();   // Interaction
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (besser: checks → effects → interaction, pull):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-enter Victim!
    ctr++;
  }
}
contract victim {
  enum State { NotRegistered, Pay, Payed }
  mapping(address => State) toPay;

  function payout_pull() public {
      var userState = toPay[msg.sender];
      require(userState == State.Pay);                  // Checks
      toPay[msg.sender] = State.Payed;                  // Effects
      if(!msg.sender.call.value(1 ether)()) revert();   // Interaction
  }
}
```

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)
- Solidity Type Inference

```
for(var i=0; i<2000; i++)
```

→ `typeof(i) == uint8` → Endlosschleife

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)
- Solidity Type Inference
  `for(var i=0; i<2000; i++)` → `typeof(i) == uint8` → Endlosschleife
- Callstack Limit
  (max. 1024 Stack Frames)

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)
- Solidity Type Inference
  `for(var i=0; i<2000; i++)` → `typeof(i) == uint8` → Endlosschleife
- Callstack Limit
  (max. 1024 Stack Frames)
- Forced Ether Transfer
  `selfdestruct(0xdeadbeef)` → `0xDEADBEEF` kriegt Saldo, kann nicht ablehnen

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)
- Solidity Type Inference
  `for(var i=0; i<2000; i++)` → `typeof(i) == uint8` → Endlosschleife
- Callstack Limit
  (max. 1024 Stack Frames)
- Forced Ether Transfer
  `selfdestruct(0xdeadbeef)` → `0xDEADBEEF` kriegt Saldo, kann nicht ablehnen
- ...

Best Practices

- Schleifen und nicht konstanten Gasverbrauch vermeiden → gegen blockierte Code Account

Best Practices

- Schleifen und nicht konstanten Gasverbrauch vermeiden → gegen blockierte Code Account
- Checks Effects Interaction Pattern → gegen Wiedereintritt

Best Practices

- Schleifen und nicht konstanten Gasverbrauch vermeiden → gegen blockierte Code Account
- Checks Effects Interaction Pattern → gegen Wiedereintritt
- Geld abheben: pull statt push → gegen blockierte Code Account
  (bessere Isolation von Ressourcen)

Best Practices

- Schleifen und nicht konstanten Gasverbrauch vermeiden → gegen blockierte Code Account
- Checks Effects Interaction Pattern → gegen Wiedereintritt
- Geld abheben: pull statt push → gegen blockierte Code Account
  (bessere Isolation von Ressourcen)
- Zustandsautomaten als Modellierungstool
  (Von Transaktions/Message-übergreifenden Abläufen)

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle

→ `Ownalble`, etc.

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.
  - Fail-Safe-Modus?

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.
  - Fail-Safe-Modus?
  - Code „ändern“? → Proxy-Pattern

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.
  - Fail-Safe-Modus?
  - Code „ändern“? → Proxy-Pattern
    (Achtung: Kann zu Vertrauensproblemen führen.)

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.
  - Fail-Safe-Modus?
  - Code „ändern“? → Proxy-Pattern
    (Achtung: Kann zu Vertrauensproblemen führen.)
- Software-Testing, Bug-Bounties, formale Verifikation . . .

Fragen ?